



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física

**APRENDIZAGEM COOPERATIVA: ESTUDANDO CONCEITOS
FÍSICOS DE COR E ESPECTRO ATRAVÉS DA ASTRONOMIA**

Jéssica Pereira Santos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física

**APRENDIZAGEM COOPERATIVA: ESTUDANDO CONCEITOS
FÍSICOS DE COR E ESPECTRO ATRAVÉS DA ASTRONOMIA**

Jéssica Pereira Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scarano Júnior.

São Cristóvão – SE

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**APRENDIZAGEM COOPERATIVA: ESTUDANDO CONCEITOS
FÍSICOS DE COR E ESPECTRO ATRAVÉS DA ASTRONOMIA**

Jéssica Pereira Santos

Banca:

Prof. Dr. Sergio Scarano Júnior- Orientador (Presidente)
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Mato-Grosso

Prof. Dr. Divanizia do Nascimento Souza (Examinador Interno)
Universidade Federal de Sergipe

DEDICATÓRIAS

Aos meus pais, por terem me dado a vida e me ensinado o valor da perseverança.

Ao meu esposo Rafael, por ter me ensinado a amar a educação e por todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao professor Dr. Sergio Scarano, por todos os muitos ensinamentos, transmitidos com dedicação e apreço. E por ter acreditado sempre.

À professora Dr. Laélia Pumilla, que me encorajou e deu apoio em momentos de incertezas.

Agradeço à amiga e colega de mestrado Magna, pelas conversas que me davam novo ânimo e pelas perguntas que me faziam refletir.

A todos os professores do MNPEF, polo 11, por me mostrarem, que vale a pena.

A todos os colegas do MNPEF, polo 11, pois juntos traçamos um caminho e construímos uma história cheia de bons momentos.

Agradeço a minha família por sempre acreditar no meu sucesso.

Agradeço à minha mãe, por todo o amor.

Ao meu esposo, por todo o incentivo e pelas longas conversas sobre educação.

À Sociedade Brasileira de Física e a Universidade Federal de Sergipe por abraçarem o MNPEF.

À CAPES pelo suporte financeiro para realização deste trabalho.

À todos os meus alunos e ex-alunos, pois vocês me ensinam a ser melhor a cada dia.

RESUMO

PEREIRA, J. S. **APRENDIZAGEM COOPERATIVA: ESTUDANDO CONCEITOS FÍSICOS DE COR E ESPECTRO ATRAVÉS DA ASTRONOMIA.** 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe.

Neste trabalho usamos a Astronomia como pano de fundo e elemento motivador para abordamos conceitos de óptica, ondulatória e Física contemporânea, usando a metodologia de aprendizagem cooperativa Jigsaw. A inserção da Astronomia é um potencial motivador da aprendizagem e através dela objetivamos construir um material didático potencialmente significativo. Para tanto, desenvolvemos atividades que se utilizam do conceito de cor e da espectroscopia, que foram apresentados concomitantemente com tópicos presentes na grade curricular tradicional do Ensino Médio. Com o método Jigsaw, estabelecemos grupos colaborativos para as atividades práticas e teóricas. Destacamos que todas as atividades foram idealizadas de forma a não necessitar do uso de computadores. Os produtos finais incluem uma sequência didática e materiais para sua aplicação: 15 cartões temáticos para a aplicação do Jigsaw e duas atividades, uma sobre a calibração de espectros eletromagnéticos e outra sobre o Efeito Doppler em galáxias, onde é possível observar o desvio para o vermelho de linhas em espectros de galáxias obtidos de bancos de dados astronômicos. Sobre a atividade de calibração, disponibilizamos todos os passos para a obtenção e tratamento dos espectros caseiros (incluindo vídeos tutoriais) e sobre como obter dados de valores padrões das raiais espectrais disponibilizados por um instituto de normas técnicas dos Estados Unidos, visando sua replicabilidade. Durante as aulas promovemos a comparação entre espectros provenientes de diferentes fontes luminosas de modo a discutir com os alunos a natureza da luz advindas dos astros. As três aulas dessa proposta ocorreram em uma escola pública na cidade de Aracaju, Sergipe. Através das respostas dos estudantes no pré-teste e no pós-teste, feitos sem fins estatísticos, apenas como um feedback de nossa prática, foi possível notar indícios de melhora na quantidade de acertos possibilitadas pelas atividades aqui descritas, o que sugere que com o método Jigsaw é possível, se não obtivermos resultados ligeiramente melhores com a aprendizagem significativa, pelo menos obtem-se a mesma aprendizagem com um grande ganho para o processo de interação entre todos os participantes. Estes testes forneceram dados a respeito de nossa prática, possibilitando a discussão sobre correções metodológicas. Pudemos perceber que o método Jigsaw, através da interação social que propõe, demonstrou potencial facilitador da aprendizagem significativa e agregador entre os indivíduos envolvidos no processo de aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino de Física, espectros, aprendizagem cooperativa, método Jigsaw.

ABSTRACT

In this paper we use Astronomy as background and motivating element so that we approach concepts of optics, waves and contemporary Physics, using the cooperative learning Jigsaw methodology. Astronomy insertion is a potential learning motivator and through it we aim to construct a potentially significant didactic material. Therefore, we developed activities that use the concept of color and spectroscopy, which were presented concomitantly with traditional topics present in the curriculum. With the Jigsaw method, we have established collaborative groups for practical and theoretical activities. We emphasize that all of them have been idealized so as not to require the use of computers. The final products include a didactic sequence and materials for its application: 15 thematic cards for the Jigsaw application and two activities, one on spectra calibration and another on the Doppler effect in galaxies, where it is possible to observe the shift to red of lines in galaxies spectra obtained from astronomical databases. About the calibration activity, we provided all steps for the obtaining and treatment of the home spectra (including tutorial videos) and how to obtain standard values data spectral lines by a technical rules institute of the United States, aiming at replicability. During the lessons we promote the comparison between spectra coming from different light sources in order for us to discuss with the students stars light nature. This proposal's three classes occurred in a public school in Aracaju city, Sergipe. Through students answers in the pre-test and in the post-test, both made without statistical purposes, as feedback to our practice, it was possible to notice improvement indications in correct answers quantity made possible by the activities described here, which suggests that the Jigsaw method is possible, if we do not get slightly better results through meaningful learning, at least the same learning occurs with a great gain to the interaction process among all the participants. These tests provided data regarding our practice, making it possible the discussion about methodological corrections. We could realize that the Jigsaw method, through its proposed social interaction, has demonstrated to be potential facilitator of significant learning and to aggregate learning process involved individuals.

Keywords: Teaching Physics, spectra, cooperative learning, Jigsaw method.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. FundaMentação Teórica	6
2.1. Ausubel e Vygotsky: o Material Potencialmente Significativo e o Contexto Social	7
2.2. Superlotações, violência e o paradoxo qualidade vs. tempo: proposta da técnica “Jigsaw”	13
2.3. A sequência didática e a proposta de material não digital	17
2.4. Astronomia nos PCNs.....	17
2.5. Tópicos de óptica Física, Ondulatória e Astronomia.....	18
2.5.1. Fenômenos luminosos: reflexão, absorção e refração	18
2.5.2. Fenômenos luminosos: dispersão e espalhamento	20
2.5.3. Ondas periódicas.....	21
2.5.4. Leis de Kirchhoff.....	24
2.5.5. A origem das linhas espectrais e a quantização da energia	25
2.5.6. O espectro eletromagnético	32
2.5.7. O efeito Doppler	33
3. Metodologia.....	37
3.1. Contexto.....	37
3.2. Sujeitos pesquisados: população e amostra	38
3.3. Temas abordados na sequência didática	39
3.4. Obtenção dos Espectros	40
3.4.1. Materiais e montagem.....	41
3.4.2. Obtenção e retificação de Espectros caseiros	43
3.5. Produtos educacionais desenvolvidos.....	47
3.5.1. Vídeos tutoriais.....	47
3.5.2. Cartões para aplicação do Método de ensino “Jigsaw”	48
3.5.3. Atividade: Calibração manual de espectros caseiros.....	49
3.5.4. Atividade: Efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo.....	53
3.5.5. Pré-teste e questionários avaliativos	56
4. discussão sobre a aplicação do Produto.....	58
4.1. Aula pré-sequência didática.....	58
4.2. Primeira aula: aplicação e observações	59
4.3. Segunda aula: aplicação e observações	62

4.4. Terceira aula: aplicação e observações	66
4.5. Análise dos resultados	69
4.5.1. Pré-teste <i>versus</i> Pós-teste.....	69
4.5.2. Ajustes na sequência sugeridos pelo autor	74
4.5.3. O método Jigsaw e a participação dos alunos	75
5. Considerações Finais e Perspectivas Futuras	79
6. Bibliografia.....	82
APÊNDICE A Pré-teste	87
APÊNDICE B Questionário da aula 01	91
APÊNDICE C Questionário da aula 02	93
APÊNDICE D Questionário da aula 03	95
APÊNDICE E Cartões para aplicação do Método Jigsaw: Aula 01	96
APÊNDICE F Cartões para aplicação do Método Jigsaw: Aula 02.....	101
APÊNDICE G Cartões para aplicação do Método Jigsaw: Aula 03.....	106
APÊNDICE H Atividade: Calibração manual de espectros caseiros.....	111
APÊNDICE I Gabarito das linhas espectrais da atividade do <i>APÊNDICE H</i>	117
APÊNDICE J Procedimentos para obtenção do gabarito das linhas espectrais usando dados do NIST	118
APÊNDICE K Atividade: Efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo.....	120
APÊNDICE L Gabarito da atividade do <i>APÊNDICE K</i>	121
APÊNDICE M Recortes de espectros de galáxias pra impressão em transparências.....	122
APÊNDICE N Tabela para organização dos grupos.....	123
APÊNDICE O Sequência Didática	124
APÊNDICE P Etapas da Sequência Didática.....	127

1. INTRODUÇÃO

A Astronomia sempre fez parte da imaginação das pessoas como algo com um toque mágico, encantador e cheio de mistérios, o que frequentemente desperta a curiosidade e simpatia de grande parte da população. Ela é uma das ciências mais antigas e há registros astronômicos que remontam desde mais ou menos 3.500 a.C, na Mesopotâmia. Os sumérios que foram o primeiro dos povos da Mesopotâmia são reconhecidos como fundadores da Astronomia e foram também os criadores da astrologia. Evidências de conhecimentos astronômicos muito antigos foram deixadas na forma de monumentos, como o de Newgrange, construído em 3200 a.C. (em que no solstício de inverno o Sol ilumina o corredor e a câmara central) e Stonehenge, na Inglaterra, há pelo menos 4.500 anos (DAMINELI, MOLINA, *et al.*, 2011). Ao longo dos séculos vários povos se empenharam no estudo da Astronomia, pois esta era útil para demarcação do tempo e para saber as melhores épocas de plantio e colheita. Contudo, o ápice dessa ciência na antiguidade se deu na Grécia, de 600 a.C. a 400 d.C.

Os povos desta época tinham uma relação com a Astronomia de natureza essencialmente utilitária, diferente da concepção que se propagou a partir dos gregos, de que o estudo da luz que vem dos astros permitiria a compreensão de como funciona a máquina do Universo (DAMINELI, MOLINA, *et al.*, 2011).

A Astronomia mesopotâmica chegou à Grécia por volta de 500 a.C. envolta por conteúdos astrológicos e preocupações com previsões ou adivinhações do futuro. Imbuídos de questionar estas preocupações, filósofos gregos buscaram compreender a natureza de uma forma geral, e em particular a natureza da luz, de onde vinha a única informação acessível dos astros. Homero, poeta grego que teria vivido no século IX ou VIII a.C., acreditava que a luz provinha dos olhos. Segundo Max Jammer (BASSALO, 1986), o físico e matemático grego Archytas de Tarentum, na primeira metade do século IV a.C., foi o primeiro a chamar essa “luz que vinha dos olhos” de “raios visuais”, que seriam partículas luminosas emitidas pelos olhos. Percebemos aí as primeiras suposições sobre um caráter corpuscular da luz (BASSALO, 1986).

Já para o filósofo grego Pitágoras (580 - 500 a. C.), segundo Banesh Hoffmann, na obra *L'Etrange Histoire des Quanta*, seriam os olhos que recebem os raios de luz emitidos por objetos luminosos, tais como astros, chamados ou os raios resvalados por objetos não luminosos. Aristóteles (384-322 a. C.) defendia a hipótese de que a luz decorria de uma atividade em um determinado meio material. Tais ideias podem ser consideradas como antecessoras da teoria ondulatória (BASSALO, 1986).

A discussão sobre a natureza da luz, também envolvia a possível finitude de sua velocidade, ideia essa defendida pelo filósofo grego Empédocles (490 - 430 a. C.), e descartada por Aristóteles, que acreditava que a velocidade da luz era infinita. Nesse ponto da história nenhuma das duas abordagens sobre a natureza da luz tinha sido descrita matematicamente. Segundo (BASSALO, 1986) “*Esse conflito permaneceu de caráter filosófico até o século XVII, quando então o debate se tornou realmente científico através dos trabalhos de Descartes, Fermat e Newton, baseados na hipótese corpuscular, e de Huygens, este apoiado na hipótese ondulatória*”.

Descartes avança na descrição da luz ao dar o primeiro tratamento matemático à lei da refração da luz, em 1637, no seu livro *La Dioptrique*. Snell, de forma independente em 1621, chegou às mesmas conclusões de Descartes. Por isso essa lei é hoje conhecida como lei de Snell-Descartes.

Em meados do século XVII Newton, realizou estudos sobre o fenômeno que ocorria ao fazer com que um feixe de luz solar oriundo de uma fenda atravessasse um prisma, onde essa luz se decompunha em uma sequência de cores semelhante à do arco-íris. Ele concluiu que a luz branca é uma mistura de diferentes tipos de “raios luminosos”, refratados em ângulos ligeiramente diferentes, cada um produzindo uma cor espectral diferente, resultando então no espectro da luz solar. Em 1672 publicou seu primeiro livro sobre a luz e a cor intitulado “*Opticks*”. Segundo o próprio Newton informa nesse trabalho (NEWTON, 1979), o fenômeno já era conhecido e havia sido discutido por pelo menos três filósofos naturais: René Descartes, em sua *La Dioptrique* (1637), Robert Boyle, em *Experiments and considerations touching colours* (1664) e Francesco Maria Grimaldi, em *Physico-mathesis de lumine* (1665). Porém estes estudos eram apenas qualitativos, sem aprofundamento matemático e geométrico.

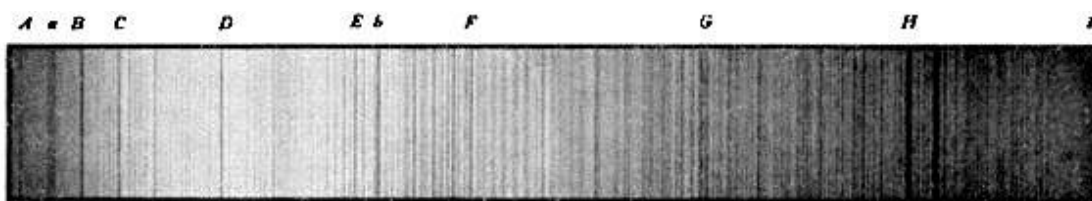
Newton realizou estudos também no ramo da Astronomia e seu trabalho mais importante foi sobre a mecânica celeste, que culminou com a Teoria da Gravitação Universal. A contribuição de Newton para Astronomia com *Opticks* (1672) se soma ao desenvolvimento da mecânica celeste e da Gravitação Universal e só não teve o mesmo alcance que estas mesmas por ignorar o aspecto ondulatório da luz, enfatizado por Huygens.

No ano de 1752 Thomas Melvill estuda a chama de sódio e percebe que a chama de uma solução de sal e álcool apresenta um espectro quase completamente amarelo. Em 1800 W. Herschell, um importante astrônomo observacional, descobriu a radiação infravermelha ao estudar os efeitos térmicos nas diferentes regiões do espectro. Utilizando um termômetro verificou que a região espectral além da cor vermelha apresenta uma importante resposta térmica, apesar de não possuir contrapartida óptica (IFSC, 2017).

Após um século da publicação de “*Opticks*”, William H. Wollaston (1766-1828) ao fazer com que a luz solar atravessasse uma estreita fenda e incidisse em um prisma, percebeu a existência de linhas escuras no espectro solar, que ele interpretou como o limite das cores (FILHO e SARAIVA, 2007).

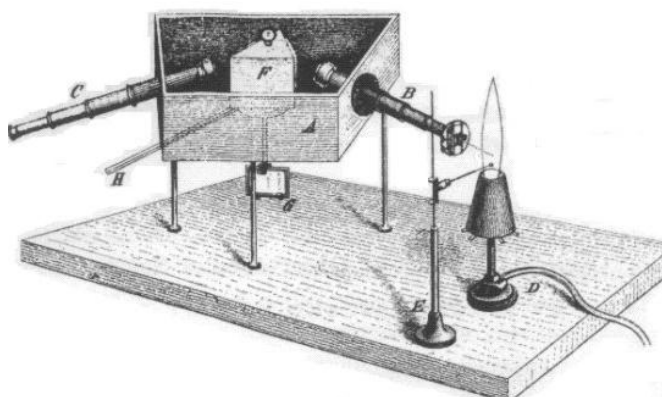
O alemão Joseph Von Fraunhofer (1787-1826) também observou linhas no espectro solar, só que com maior resolução, já que ele fabricava prismas e lentes especiais variando os componentes básicos do vidro (cálcio, cal e carbonato de sódio) para favorecer a dispersão da luz (PEDUZZI, 2008). Fraunhofer inventou o espectroscópio, e descobriu 574 linhas escuras no espectro solar, nomeando as 324 linhas mais fortes com letras maiúsculas, com A na parte vermelha do espectro, e as menos intensas com letras minúsculas (*Figura 1.1*).

Figura 1.1: Imagem de um dos espectros do Sol vistos por Fraunhofer (FILHO e SARAIVA, 2007).



Em 1859, os trabalhos desenvolvidos pelo físico alemão Gustav R. Kirchhoff (1824-1887) e o químico inglês Robert Bunsen (1811-1899), impulsionaram fortemente a espectroscopia (PEDUZZI, 2008). Eles estudavam, com o uso de um espectroscópio, a luz emitida pela queima de sais com o bico de Bunsen (*Figura 1.2*).

Figura 1.2: Espectroscópio como construído por Gustav R. Kirchhoff e Robert W. Bunsen, por volta de 1823 (SATELLITE-GROUP, 2018).



Diversos estudos sobre a luz e sua decomposição seguiram até chegarmos às concepções modernas, das quais especialmente destacamos a natureza eletromagnética da luz,

revelada pelas equações de Maxwell, e o desafio de explicar os espectros descontínuos dos elementos químicos, que levou às Leis Espectroscópicas de Kirchhoff e ao modelo atômico de Bohr.

Atualmente somos cercados de elementos que estão intimamente relacionados à natureza da luz, seja ela ondulatória ou corpuscular. Tamanha é a importância da luz em nossas vidas que 2015 foi proclamado pela ONU como o ano internacional da luz e das Tecnologias baseadas na Luz. Segundo o secretário-geral da ONU na época, Ban Ki-moon, o papel que as tecnologias à base de luz desempenham no desenvolvimento sustentável pode ajudar a comunidade internacional a enfrentar os desafios do século 21. Com esta iniciativa a ONU pretende aumentar a consciência pública sobre a influência da fotônica, ou a ciência e tecnologia de gerar, controlar e detectar os fótons, ou partículas de luz, na vida cotidiana (ONU, 2015).

Apesar de tamanha importância dos aspectos relacionados à luz, no cenário brasileiro, o currículo de Física nas escolas pouco se aprofunda nos conteúdos que dizem respeito à sua natureza (Óptica Física) dando bem mais destaque aos seus aspectos geométricos (Óptica Geométrica). Menos importância ainda, recebem os conteúdos da Física Moderna, que, quando aparecem, são trabalhados de forma superficial e quase desvinculada do processo de evolução histórica das ideias da Física. São comuns os programas mais completos de Física, no Ensino Médio, geralmente se reduzem apenas à Cinemática, Dinâmica, Termologia, Óptica Geométrica, Eletricidade e Circuitos Simples (TERRAZZAN, 1992).

Com o objetivo de explorar tópicos modernos e quantitativos da natureza da luz, que fazem parte do cotidiano da maior parte das pessoas de maneira cada vez mais indispensável, e buscando integrar estes saberes através da Astronomia, elaboramos uma sequência didática e produtos instrucionais em que temas correntemente explorados em Física, como Ondas, Óptica e Física Moderna são contextualizados dentro das metas dos PCN's. Estes temas foram abordados em sala de aula utilizando tópicos relacionados à Astronomia como o imageamento de fontes astronômicas em diferentes comprimentos de onda, o significado das cores em contexto astronômico e a espectroscopia e sua relação com a química. Também foram elaborados materiais de apoio e vídeos tutoriais sobre a obtenção e preparação da imagem para realizar a calibração.

Como objetivos específicos relacionados aos subprodutos deste trabalho incluímos um tutorial para a confecção de um espectrógrafo caseiro, vídeo tutoriais que ensinam o processo de correção dos espectros obtidos através de uma câmera de celular; uma sequência didática em um formato que visa favorecer a interação entre aluno-aluno e aluno-professor e o

material didático correspondente utilizado ao longo da sequência didática explorando os conhecimentos da Física por meio da Astronomia e por fim uma atividade de calibração em comprimento de onda de espectros caseiros obtidos previamente por nós. Por meio desta atividade exploraremos conceitos da matemática e da química de maneira interdisciplinar. Os temas abordados culminam em uma atividade a respeito do efeito Doppler em espectros de galáxias para investigar as teorias, tão exploradas pela mídia, da Expansão do Universo e do Big Bang. Por fim, o produto educacional final produzido da composição de todos estes materiais tem o objetivo geral de beneficiar os currículos escolares em Física divulgando conhecimentos sobre Astronomia a eles relacionados.

Contudo, preocupados com aspectos sociais da educação no Brasil, optamos por uma metodologia de ensino cooperativa chamada Jigsaw. Ao utilizá-la obtemos resultados positivos nas relações aluno-aluno e aluno-professor.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em termos pedagógicos são muito comuns os relatos de problemas ao se lidar com diversos conteúdos de Física. Em muitos casos, um dos problemas relatados é a aparente desconexão dos temas relativamente à realidade dos alunos (AUGUSTO e CALDEIRA, 2016). A abordagem de temas de forma isolada, ignorando a correlação intrínseca entre eles, a interdisciplinaridade e aspectos históricos do desenvolvimento da ciência e tecnologia acabam por retirar diversos aspectos de possível ressonância com os interesses dos próprios alunos. Consequentemente, o desinteresse em alguns tópicos ou mesmo na disciplina de Física como um todo, fatalmente afeta o resultado final destes alunos nesta disciplina. Nota-se uma particular dificuldade dos alunos quanto à ideia do uso da Matemática como uma linguagem para interpretação da natureza, em especial na abordagem da Física, em que a interdisciplinaridade entre estas disciplinas é confundida pelo uso de uma simbologia similar, mas com abordagens diferentes.

Um estudo feito por Augusto e Caldeira (2016) questionou a um grupo de professores das disciplinas de Ciências da Natureza, sobre quais as dificuldades relacionadas aos conteúdos científicos, aos colegas professores e aos alunos, obstaculizavam a realização de trabalhos interdisciplinares. As respostas foram analisadas estatisticamente. Em relação aos alunos, “os docentes entrevistados afirmam que os alunos e alunas preferem o ensino tradicional e não recebem bem novas metodologias” (AUGUSTO e CALDEIRA, 2016). Ainda segundo a pesquisa os professores (78,3%) relatam que a indisciplina, agressividade e desinteresse dos alunos é um forte agravante que dificulta o trabalho interdisciplinar em classe. Outros problemas apontados por 13,6% dos professores entrevistados é que os conteúdos da disciplina Física são distantes da realidade e dos interesses dos alunos e que há dificuldade em fazer com que o conteúdo seja significativo aos alunos.

Agrega-se aos problemas o fato de que o desenvolvimento de novas tecnologias embute um histórico de evoluções que não são facilmente compreendidas tanto pela quantidade de conteúdos em Física necessários para desvendá-lo quanto pela quantidade de tempo demandado para que todos os assuntos sejam abordados. Portanto, cada vez mais é necessário que os conteúdos ministrados nas aulas de Física tragam embutidos temas correlatos com outras disciplinas e com aspectos do dia-a-dia do aluno.

Segundo Santomé (1998, p. 229), conforme citado por Augusto e Caldeira (2016), a escolha dos temas em aulas interdisciplinares deve ter a participação dos estudantes e partir de

seus interesses “gerando novos interesses”. O professor também pode partir de temas que são conhecidos pela empatia que geram nos alunos, como por exemplo, a Astronomia.

“não existem interesses inatos, estes são consequência das situações experienciais nas quais as pessoas estão submersas. [...] Isto significa que os interesses também podem ser gerados intencionalmente. [...] As unidades didáticas integradas devem ser interessantes para o grupo de alunos ao qual se destinam. Portanto, será preciso selecionar cuidadosamente os tópicos que sirvam como organizadores do trabalho na sala de aula e apresentá-los de maneira atraente. O papel do professor estimulador e acrescentador de novos interesses e necessidades nos estudantes é fundamental. (Santomé1998, p. 229)

A indisciplina em sala de aula é outro problema citado por (AUGUSTO e CALDEIRA, 2016) em sua pesquisa. Segundo (SAMPAIO, 1997), a indisciplina tem sempre um significado relacional no contexto escolar. Significa um mal estar que pode ter múltiplas significações, mas não é desprovido de sentido. Entre as formas citadas para evitar a indisciplina está a mudança frequente do espaço de aula, ou seja, *“O arranjo espacial deve articular-se com o tipo de aula, sendo aconselhável que a classe se transforme o mais possível em grupo cooperativo de trabalho”* (SAMPAIO, 1997).

Frente a estas dificuldades pesquisamos um conjunto de teorias e abordagens que podem responder e auxiliar o professor no desenvolvimento de atividades que se enquadram tanto nos objetivos educacionais, em termos de conteúdo, quanto nos aspectos subjetivos da relação ensino aprendizagem. Desta forma, não nos preocupamos com aspectos puramente teóricos de uma ou outra abordagem, mas nos resultados práticos dos recursos instrumentais que cada uma pode proporcionar dentro de cada contexto. Cabe a nós perceber, argumentar, testar e relatar os resultados, discutindo benefícios e falha da abordagem, sem pretensões generalizantes, mas apresentando contextos que potencialmente podem guardar similaridades práticas com outras realidades.

2.1. Ausubel e Vygotsky: o Material Potencialmente Significativo e o Contexto Social

Muito se fala em uma aprendizagem que tenha como objetivo a formação de um aluno com capacidade argumentativa, reflexiva e que seja capaz de relacionar o que aprendeu no ambiente escolar com elementos externos, favorecendo a fixação dos conteúdos aprendidos na escola. Quando o indivíduo que aprende adquire estas qualidades a respeito de si em sua relação com os conteúdos aprendidos diz-se que houve aprendizagem significativa. Moreira

(MOREIRA, 2012) em artigo intitulado “*O que é afinal aprendizagem significativa*” faz uma descrição detalhada da teoria da aprendizagem significativa na visão clássica de David Ausubel. Segundo Moreira (2012):

“Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende”(MOREIRA, 2012).

Sendo assim pretendemos nos apoiar no conceito de Ausubel para aprendizagem significativa, que para ele consiste em um “processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo” (MOREIRA, 1999). A este aspecto relevante, Ausubel deu o nome de *subsunçor*. Portanto os *subsunçores* dos alunos que iremos buscar são aqueles que envolvem conceitos a respeito de tópicos sobre a luz, Astronomia e elementos de tecnologia.

O processo pelo qual o aluno obtém significado a respeito de um dado conhecimento aprendido foi classificado, segundo Ausubel (MOREIRA, 1999), como:

- Aprendizagem subordinada: É quando uma nova informação adquire significado através da interação com *subsunçores* de um indivíduo.
- Aprendizagem superordenada: Ocorre quando um conceito mais inclusivo (mais geral), potencialmente significativo, é adquirido a partir de conceitos menos inclusivos.
- Aprendizagem combinatória: É a aprendizagem de conceitos que não possuem relação de subordinação ou superordenação, mas com um conceito amplo, mais geral na estrutura cognitiva. Ou seja, para um conceito aprendido de forma combinatória, não existe na estrutura cognitiva do indivíduo, um *subsunçor* claro sobre o tema.

Segundo Ausubel, aprendizagem cognitiva é aquela que resulta na organização e integração do material na estrutura cognitiva (MOREIRA, 1999). Pretendemos alcançá-la através do material didático que tenha significado para o aluno. Em nosso trabalho iremos atrelar elementos do currículo da Física com elementos que envolvem Astronomia e tecnologia, elementos estes que despertam a curiosidade dos alunos, como a formação do arco-íris, a expansão do Universo, a formação de cores e instrumentos que fazem parte do seu dia-a-dia como celulares, TVs, telas de LCD.

Pretendemos facilitar a aprendizagem afetiva ao trabalharmos em nossas aulas com um método de aprendizagem cooperativo chamado “Jigsaw”, que iremos descrever na sessão seguinte. A aprendizagem cooperativa favorece o desenvolvimento e fortalecimento de

relações interpessoais aluno-aluno e aluno-professor que favorecem a empatia do aprendiz tornando-o mais propenso à relação ensino-aprendizagem. Segundo (MOREIRA, 1999) a experiência cognitiva é sempre acompanhada de algumas experiências afetivas, sendo elas, portanto complementares.

A aprendizagem psicomotora será abordada por nós na construção e utilização de um espectroscópio caseiro e na resolução de um exercício de calibração do comprimento de onda de espectros feita manualmente.

Segundo Moreira, os subsunçores podem auxiliar o aprendizado trazendo uma base para que o novo conhecimento seja ancorado. Entretanto existem subsunçores positivos que auxiliam a aprendizagem e subsunçores que podem dificultar a aprendizagem como cita (MOREIRA, 2008). Em alguns casos o conhecimento prévio pode ser um bloqueador, funcionando como obstáculos epistemológicos. Para a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, o conhecimento prévio do aprendiz é a variável que mais influencia na aprendizagem, influência esta que pode ou não propiciar a aprendizagem.

Isto pode ser exemplificado pelo conceito Físico de peso. O peso de um corpo expressa a força com que corpos massivos atraem-se mutuamente. Quando um destes corpos possui massa significativamente maior que o outro é mais fácil visualizar o corpo menos massivo ir de encontro ao mais massivo. Vemos esta atração ocorrer com objetos próximos à superfície da Terra. Logo o peso ou força gravitacional de um corpo varia quando a aceleração da gravidade varia, ou seja, quando nos afastamos da superfície da Terra ou quando estamos nas proximidades de corpos com massa distinta à da Terra. Já a massa de um corpo é associada, em termos clássicos, à quantidade de matéria inerente a este corpo, e não varia em qualquer lugar do Universo exceto sob condições relativísticas, quando as características inerciais da massa devem ser resignificadas. Entretanto, no senso comum o peso é entendido como massa. Por este motivo, quando alguém sobe em uma balança diz que está medindo o seu “peso”. Este conceito errôneo parece inofensivo, mas dificulta a distinção entre os dois conceitos, e pode gerar confusões e dificuldade de aprendizagem significativa do aluno.

Isso não significa que para que ocorra aprendizagem significativa, neste exemplo sobre o conceito de peso, seja necessário que toda a população mude o seu jeito de se expressar sobre a massa de um corpo. Concepções alternativas podem existir sem que haja um comprometimento na estrutura cognitiva de um conceito científico. Segundo Cunha apud (NARDI e TEODORO GATTI, 2004) *“Mudança conceitual raramente envolve um abandono completo de uma noção a favor de uma outra. Do contrário, com frequência envolve adição*

de novas noções, retenção de noções existentes e aquisição de um sentido do contexto no qual a nova noção é mais apropriada.” (Cunha, 1999: p.87). Devemos então, separar os significados (conceitos) e seus contextos, científicos ou outros (MOREIRA, 2008).

Segundo a teoria de desenvolvimento cognitivo de L. S. Vygotsky, a formação de conceitos pelo indivíduo tem origem em processos sociais. Ou seja, toda nova aprendizagem decorre da interação social entre indivíduos. Em sua teoria, Vygotsky afirma que a formação de significados é inerente ao contexto social em que o sujeito é inserido (MOREIRA, 1999).

Para Vygotsky, os aspectos culturais, históricos e sociais possuem um papel determinante para o desenvolvimento cognitivo humano. Isto significa que para Vygotsky, os processos mentais superiores caracterizados pelo pensamento, linguagem e comportamento volitivo, tem origem em processos sociais (MOREIRA, 1999). A formação destes processos mentais só é possível através da mediação que ocorre através do uso de instrumentos e signos que vinculam indissociavelmente o indivíduo à sua cultura. Em nosso trabalho entendemos a aprendizagem como fruto da interação social, segundo a visão de Vygotsky, interação que reflete também sobre o ensino e aprendizagem.

Um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa, como um lápis que é usado para escrever; um signo é algo que significa outra coisa, como uma palavra que escrita ou falada só tem sentido para indivíduos que adquiriram seu significado socialmente. A ideia de como utilizá-los (instrumentos e signos) faz parte dos costumes de uma determinada cultura.

Segundo Vygotsky, é de extrema importância a mediação semiótica, ou seja, a mediação dos sistemas de signos da cultura em que o indivíduo está inserido, pois esta é a base do funcionamento mental humano (CAVALCANTI, 2005).

Para Vygotsky um indivíduo só é capaz de aprender, se o que lhe for ensinado estiver num limiar entre o que ele já pode realizar sozinho e o que ele é capaz de realizar com o auxílio de um companheiro mais experiente. A esse limiar Vygotsky deu o nome de “Zona do Desenvolvimento Proximal” ou ZDP. A aprendizagem potencialmente significativa e com maiores chances de ser internalizada, será adquirida nesta zona. No caso, o professor é o companheiro mais experiente que já internalizou os significados socialmente compartilhados para os materiais educativos do currículo (MOREIRA, 1999). Será ele o responsável pela mediação entre os signos e seus significados.

Felizmente a Astronomia é um palco em que diversas ciências e diversos aspectos de tecnologia se casam e promovem historicamente correlações entre o que de mais moderno é produzido em ciência e as questões mais básicas das pessoas num ambiente que consome

ciência e tecnologia. Temas como buracos negros, multiversos, a origem do Universo, a composição misteriosa da matéria escura, ou da energia escura correntemente se encontram na mídia a atizam a curiosidade de pessoas em qualquer faixa etária. Crianças e adolescentes, por estarem em um período de descobertas, sentem especial fascínio sobre os temas. Em paralelo essas pessoas são consumidoras de tecnologias cuja finalidade prática acaba por mascarar a beleza dos fenômenos físicos embutidas nelas. Assim pretendemos explorar tal curiosidade, para abordar temas do currículo do Ensino Médio sob a perspectiva da Astronomia.

A partir do uso dos materiais didáticos desenvolvidos, que envolvem a experimentação, leitura e discussões em classe, pretendemos transformar a subjetividade no conceito popular de cor a partir do embate moderado de ideias dos alunos, ao mesmo tempo em que introduzimos a metodologia para quantificar esse conceito objetivamente. Esperamos que o aprendiz alcance a internalização consistente dos temas abordados, transformado a atividade externa em atividade interna, numa espécie de releitura pessoal sobre o tema que deve ser mediada com o uso de instrumentos e signos. Para Vygotsky o principal conjunto de signos é a linguagem, expressa através da fala. Ela permite a construção da consciência, e em seu nível abstrato e descontextualizado, flexibiliza o pensamento conceitual e proposicional. Pensamento esse que permite a evolução da ZDP até que o indivíduo seja capaz de compreender conceitos como os da Física e como eles se relacionam com signos matemáticos. Segundo Moreira (1999):

“sem interação social, ou sem intercâmbio de significados, dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz, não há ensino, não há aprendizagem e não há desenvolvimento cognitivo. Interação e intercâmbio implicam necessariamente que todos os envolvidos no processo de ensino-aprendizagem devem falar e tenham a oportunidade de falar.”(MOREIRA, 1999, p. 119).

Imbuídos da ideia de que a aprendizagem ocorre a partir de relações sociais e da mediação de instrumentos e signos, iremos explorar na aplicação de nosso produto a técnica de aprendizagem cooperativa Jigsaw, utilizando também a experimentação e exploração de instrumentos comuns aos alunos como celulares, telas de TV e monitores, aliados a um ingrediente que desperta curiosidade e mexe com o imaginário de todos: a Astronomia. Existem, segundo Ausubel, duas condições para que a aprendizagem significativa ocorra: O material potencialmente significativo (que implica logicidade intrínseca ao material e disponibilidade de conhecimentos especificamente relevantes) e predisposição para aprender (MOREIRA, 1999).

Iremos nos valer do caráter instigante da Astronomia como forma de favorecer a predisposição para aprender dos alunos. Langhi (2009) destaca o papel motivador da Astronomia e relata que, ao tocar nesse assunto, “a maioria dos jovens costuma desencadear uma enxurrada de perguntas”. Felizmente ela é uma ciência em ascensão no Ensino Médio, porém ainda com pouca implementação por parte dos professores, na maioria dos casos, por não aprender estes conteúdos durante a sua formação na faculdade (LANGHI, 2009).

Caniato apud Langhi (2009) faz um apontamento sobre as principais razões que justificam o uso da Astronomia nos processo de ensino-aprendizagem, dentre as quais destacam-se sob a ótica da nossa proposta as seguintes razões:

“1. A Astronomia, pela diversidade dos problemas que propõe e dos meios que utiliza, oferece o ensejo de contato com atividades e desenvolvimento de habilidades úteis em todos os ramos do saber e do cotidiano da ciência.

2. A Astronomia oferece ao educando, como nenhum outro ramo da ciência, a oportunidade de uma visão global do desenvolvimento do conhecimento humano em relação ao Universo que o cerca. (...)

4. A Astronomia oferece oportunidade para atividades que envolvam também trabalho ao ar livre e que não exigem materiais ou laboratórios custosos. (...)

6. O estudo do céu sempre se tem mostrado de grande efeito motivador, como também dá ao educando a ocasião de sentir um grande prazer estético ligado à ciência: o prazer de entender um pouco do Universo em que vivemos.”(CANIATO apud LANGHI, 2009).

Diante das considerações feitas acreditamos que a Astronomia apresenta um vasto leque de possibilidades educacionais que favorecem a predisposição para aprender e a construção de materiais potencialmente significativos, para praticamente todos os tipos de alunos.

Portanto, sem pretensões academicistas e partindo de uma perspectiva prática, podemos ver os benefícios de mesclarmos os conceitos a respeito da necessidade de interação social da qual surge a aprendizagem, abordados por Vygotsky, com o enfoque sobre a aprendizagem significativa feito por Ausubel, seus pré-requisitos e tipos de aprendizagem. Visto de uma perspectiva social, queremos enfatizar a ideia de que se não houver um cenário propício à interação social, não há condições para existência da aprendizagem significativa. Por outro lado, de uma perspectiva individual, a terminologia sobre os três tipos de aprendizagem de Ausubel, e dos subsunçores são muito práticas ao planejamento das estratégias de ensino.

Seguindo Vygotsky, trabalharemos com temas que sejam potencialmente significativos para um determinado público, e desenvolvendo os conceitos a partir dos pré-

requisitos visto nas séries anteriores, entendemos que estamos abordando conceitos que estejam na zona de desenvolvimento proximal da maior parte dos integrantes deste público, que em nosso caso compõem os alunos do 2ª ano do Ensino Médio. Adotando uma perspectiva de Ausubel, como parte de nossos produtos, exploraremos a construção de materiais didáticos potencialmente significativos, que abordem os três tipos gerais de aprendizagem: cognitiva, afetiva e psicomotora.

2.2. Superlotações, violência e o paradoxo qualidade vs. tempo: proposta da técnica “Jigsaw”

A modificação do artigo 25 da Lei nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que foi aprovada na Lei de diretrizes e bases da Educação (LDB), proposta pelo projeto de lei do senado (PLS 504/2011), foi feita com o propósito de garantir que a máxima lotação das turmas de Ensino Médio fosse de 35 alunos.

Entre diversos outros fatores, turmas muito numerosas dificultam a aprendizagem e impossibilitam que os professores acompanhem satisfatoriamente todos os alunos (CANHICI, 2014). Apesar disso vemos estados discordarem da LDB, a exemplo do Estado de Sergipe que em dezembro de 2015 publicou a portaria Nº 5937 /2015 que traz no artigo 4º inciso II, que a composição das turmas de Ensino Médio deve ter no mínimo de 35 alunos e máximo de até 40 alunos.

Além da superlotação das salas de aula, no cenário brasileiro nos deparamos com a violência escolar, que segundo Abramovay e Rua (2002) é composta de muitos tipos sendo um dos mais comuns o *bullying*. Ela interfere em todas as esferas do ambiente escolar, em especial no relacionamento entre alunos e entre alunos e professores. Spósito (2001) analisou um conjunto de estudos sobre violência escolar e citou que as ocorrências acontecem em várias cidades do país, não sendo restritas às grandes cidades e capitais. Esse é o caso da cidade de São Cristóvão no estado de Sergipe, local onde o nosso produto foi idealizado; uma pequena cidade, porém com altos índices de violência.

Considerando que para Vygotsky a aprendizagem se dá por meio da interação social, diante da lotação nas salas de aula e da falta de perspectivas de mudanças neste quadro, buscamos uma técnica que facilitasse a condução da turma e favorecesse a melhoria das relações interpessoais entre todos os envolvidos no processo educativo. Optamos por utilizar a estratégia de aprendizagem cooperativa chamada “Jigsaw”.

A técnica de aprendizagem cooperativa Jigsaw teve origem no ano de 1971 em Austin, Texas, sendo desenvolvida por Elliot Aronson ("Jigsaw Classroom", 2017) e (ARONSON, 2002). Nessa época os Estados Unidos vivia a dissolução da segregação racial em termos legais. Nas salas de aula jovens brancos, afro-americanos e hispânicos passaram a compartilhar os mesmos espaços, o que logo gerou uma atmosfera de hostilidades onde as brigas eram frequentes. Após ser convidado a descobrir uma resolução para esse problema, Aronson e alguns de seus alunos da Universidade do Texas e da Universidade da Califórnia diagnosticaram que "a hostilidade entre os grupos estava sendo alimentada pelo ambiente competitivo da sala de aula." ("Jigsaw Classroom", 2017).

A técnica Jigsaw possui três etapas, sendo que a primeira consiste em organizar a sala de aula em grupos colaborativos com aproximadamente 4 a 6 alunos, chamados grupos base. Cada grupo base deverá eleger um líder (ou facilitador), que é geralmente o aluno mais maduro do grupo e será responsável por pequenas intervenções neste, como lidar com um colega disperso ou orientar o estudo. Aronson afirma que esses grupos devem ser diversos em termos de gênero, etnia, raça e habilidades. O conteúdo a ser ministrado na aula deve ser dividido em um número de partes igual ao número de alunos de cada grupo base, que por sugestão podem ser identificados com uma letra (grupo A, B, C,D,...), conforme a parte superior da *Figura 2.1*.

Os indivíduos de cada grupo serão nomeados com um número, por exemplo, no grupo A estarão os indivíduos A1, A2, A3, A4. O professor deve distribuir os temas do conteúdo para cada aluno e deve tentar assegurar que cada aluno tenha acesso apenas ao seu tema. Isso significa que cada aluno designado com o número 1 de cada grupo terá acesso apenas ao tema 1, os alunos designados com o tema 2 terão acesso apenas ao seu tema e assim por diante. Neste momento ou em um momento anterior (durante a formação dos grupos) cabem explicações gerais do professor sobre o tema e explicações sobre a dinâmica de trabalho. A partir do momento em que se formam os grupos base o professor deve explicar a turma quais as funções existentes no grupo. Segundo Cochito (2004), a existência destas funções é necessária para os componentes de cada grupo participem de forma equilibrada, contribuindo e valorizando-se mutuamente.

Recomendamos que cada aluno possua uma função específica no grupo para garantir a participação ativa de todos e evitar perda de tempo durante a aula. As funções sugeridas em (COCHITO, 2004) e que usamos neste trabalho com adaptações nossas baseadas em (FATARELI, FERREIRA, *et al.*, 2010) foram:

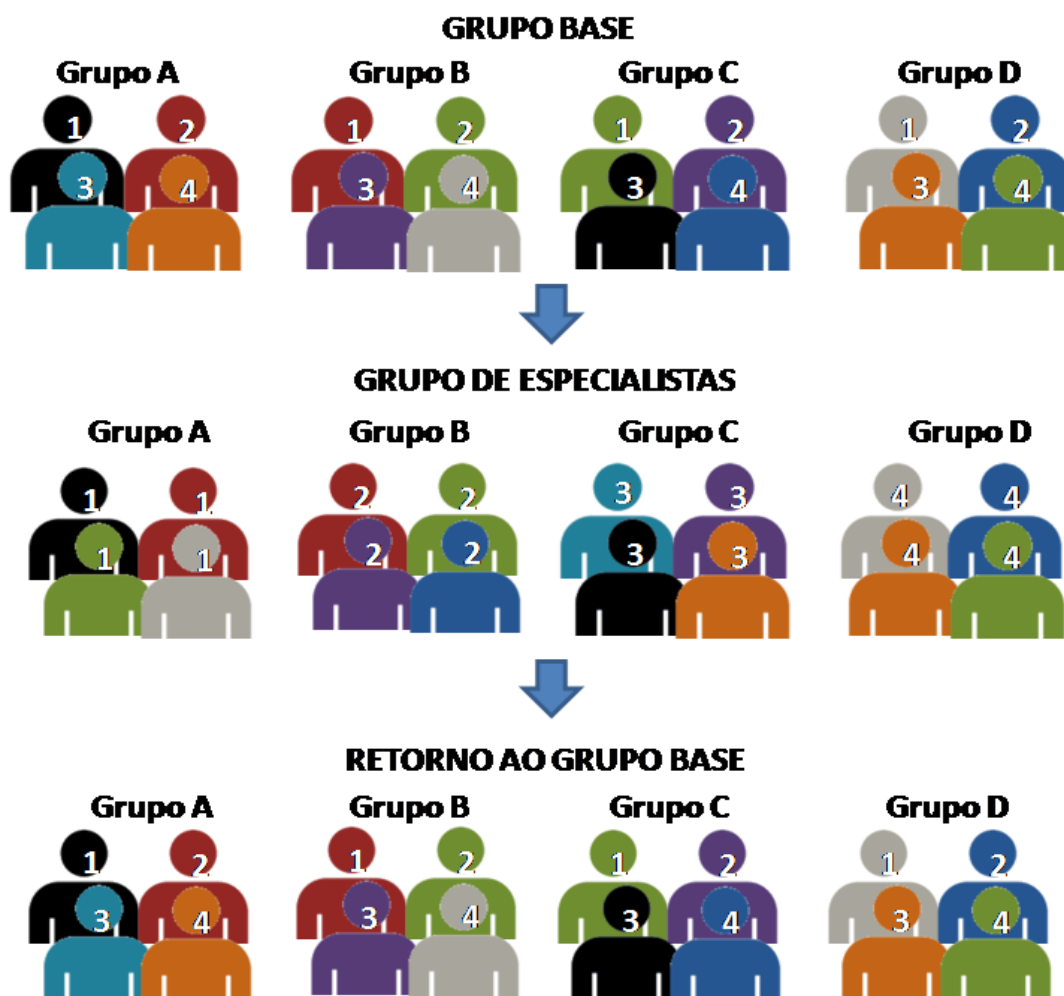
- Porta-voz: tira dúvidas com o professor;

- Mediador: organiza as discussões no grupo, procura harmonizar os conflitos que podem surgir;
- Redator: redige as respostas do grupo;
- Relator: expõe os resultados da discussão entre os colegas;
- Facilitador ou animador: assegura que todos compreendem as instruções, verifica o tempo das discussões, para que todos tenham a oportunidade de falar e busca organizar e verificar as outras funções.

No *APÊNDICE N*, há uma tabela para a organização dos grupos construída por nós para facilitar a coordenação dos grupos por parte do professor.

Num segundo momento os indivíduos com mesma numeração (A1, B1, C1, D1) irão se reorganizar em um novo grupo, chamado de Grupo de Especialistas (parte central da *Figura 2.1*), pois todos os que compõem cada grupo dessa nova formação são responsáveis pelo mesmo tema. Essa nova formação deve ser estimulada pelo professor (percebemos aí seu papel de como mediador) a discutir dentro de seu grupo de especialistas sobre seu tema, como por exemplo, esclarecer possíveis dúvidas seja entre os colegas ou com o professor e planejar a forma de explanação do tema aos seus colegas. Após esse período de conversas, e dando início a terceira etapa, cada componente retorna ao seu grupo base (parte inferior da *Figura 2.1*) e expõe aos seus demais colegas em ordem temática o conteúdo pelo qual ficou responsável. Nesse ponto o professor deve ir de grupo em grupo, observando o processo e incentivando seus membros a fazer perguntas para esclarecimento do conteúdo temático como todo.

Figura 2.1 Ilustração da formação dos grupos no método Jigsaw.



É importante lembrar que o papel do professor nesse processo é o de mediador na aquisição de significados socialmente construído se no intercâmbio destes entre professor e aluno, dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz (MOREIRA, 1999).

Ao longo de uma aula, aplicando-se a técnica Jigsaw, o professor deve estar atento se algum grupo está tendo problemas (por exemplo, se um membro é dominante ou perturbador), para que se faça uma intervenção adequada, porém isso só deve ser feito caso o facilitador não consiga manter a harmonia entre o grupo.

No final da sessão aplicaremos um questionário sobre o material. Segundo Aronson (2002) os alunos rapidamente percebem que essas sessões não são apenas divertimento e jogos, mas realmente têm um papel pedagógico.

2.3. A sequência didática e a proposta de material não digital

Esta sequência didática foi desenvolvida exclusivamente por nós, sendo que não usamos qualquer referencial sobre sequências didáticas.

Sabemos que as escolas públicas do país apresentam muitas vezes dados sobre salas de computação que não são exatamente verdadeiros. Em uma boa quantidade dos casos a escola possui uma sala de computação, mas os computadores estão em péssimo estado de conservação, seja pelo sucateamento, pelo desuso, ou pelo comprometimento de sistema operacional devido à falta de manutenção (CGI.BR, 2016). A falta de administração na educação por parte do estado é apontada em Alencar (2005) como o fator que emperra o uso sistemático da informática nas escolas públicas e que persiste até os dias atuais.

Conhecendo essa realidade, os produtos desenvolvidos neste trabalho são materiais não digitais que abordam a espectroscopia através de imagens previamente impressas para manipulação pelos alunos. Esta sequência didática foi elaborada exclusivamente por nós, a partir do contexto escolar que observamos. No desenvolvimento destes materiais didáticos tentamos sempre trabalhar com materiais de fácil aquisição e de baixo custo, porém com alto potencial didático, pretendendo assim minimizar os obstáculos encontrados nas escolas publicas do Brasil.

2.4. Astronomia nos PCNs

Nas últimas décadas tem-se verificado um crescente aumento no número de trabalhos cuja temática visa à inserção de temas da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (GUIMARÃES e SADE, 2009). No Brasil esta tendência surge claramente nos PCN+ (BRASIL, 2006) estabelecendo que: Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e laser presentes nos utensílios tecnológicos (BRASIL, 2006).

Os Parâmetros Curriculares do Ensino Médio PCN+ (BRASIL, 2006) organizaram o ensino de Física em seis temas estruturadores: 1. Movimentos: variações e conservações; 2. Calor, ambiente e usos de energia; 3. Som, imagem e informação; 4. Equipamentos elétricos e telecomunicações; 5. Matéria e radiação; 6. Universo, Terra e vida. Em cada um deles existem possibilidades interdisciplinares de se trabalhar com a Astronomia.

Cada um dos seis temas que organizam o ensino de Física possui competências que foram organizadas nos PCN's de forma a explicitar os vínculos da Física com seus diversos

aspectos históricos e socioculturais. Assim, há competências relacionadas principalmente com a investigação e compreensão dos fenômenos físicos, enquanto há outras que dizem respeito à utilização da linguagem física e de sua comunicação, ou, finalmente, que tenham a ver com sua contextualização histórica e social.

Em especial neste trabalho abordaremos conteúdos relacionados aos temas 3, 5 e 6, embora todos os demais permeiam a essência dos assuntos abordados. No tema 3 (Som, imagem e informação) iremos abordar assuntos sobre a composição de cores e formação de imagens. Também neste tema recorreremos a analogias com ondas sonoras. O tema 5 (Matéria e radiação) será abordado ao falarmos sobre as radiações eletromagnéticas e sua importância na Astronomia, dando destaque à luz visível e sua interação com a matéria, ao falarmos dos tipos espectrais. Por fim o tema 6 (Universo, Terra e vida) terá a finalidade de inserir na vida dos alunos questões sobre Cosmologia, como o uso do efeito Doppler para explicar o deslocamento para o vermelho de galáxias, cujos espectros deverão ser interpretados pelos alunos a partir do material que desenvolvemos em nossos subprodutos.

2.5. Tópicos de óptica Física, Ondulatória e Astronomia

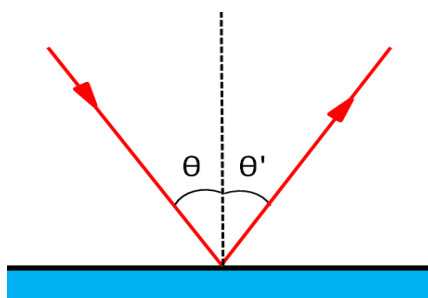
2.5.1. Fenômenos luminosos: reflexão, absorção e refração

A luz é a manifestação de uma forma de energia que tem a capacidade de sensibilizar nossos olhos. Ela se propaga como uma onda tanto em meios materiais quanto no vácuo, sendo que a luz das estrelas que vemos a noite e a própria luz do Sol exemplos deste último caso. Junto com a propagação em linha reta, uma de suas características mais populares relacionadas à luz é que sua propagação é a mais rápida da natureza, com velocidade de cerca de 300 000 quilômetros por segundo (3×10^8 m/s) no vácuo.

Ao incidir em uma superfície como a da lâmina d'água de uma piscina, um livro, ou um espelho a luz pode ser refletida, absorvida ou refratada. Na maioria das vezes ocorrem os três fenômenos, onde geralmente um deles é predominante.

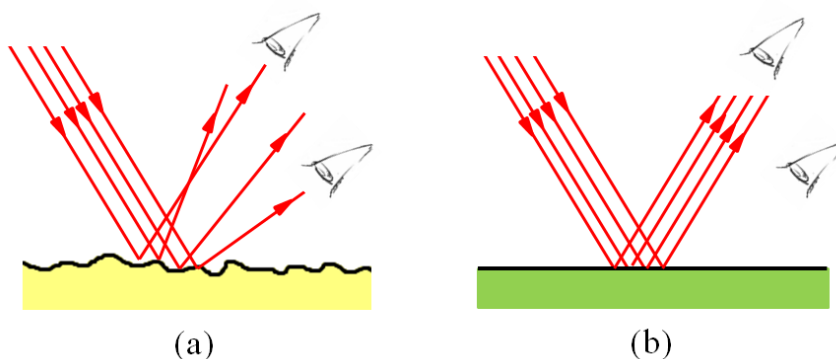
A reflexão ocorre quando a luz que incide em uma superfície muda de direção, de forma que o ângulo de incidência em relação à perpendicular a superfície será em módulo o mesmo da luz que muda de direção. A *Figura 2.2* ilustra esta situação.

Figura 2.2: Na reflexão o ângulo de incidência (θ) é igual ao ângulo de reflexão (θ'). A reta tracejada no centro da imagem é a perpendicular a superfície, também chamada de normal.



A reflexão da luz pode ser regular ou difusa. A reflexão regular ocorre em superfícies lisas como o espelho (*Figura 2.3 (b)*) e a reflexão difusa ocorrem em superfícies com rugosidades (*Figura 2.3 (a)*). Esta última é o tipo de reflexão ocorre na maioria dos objetos.

Figura 2.3: (a) reflexão difusa. (b) reflexão regular.



A absorção ocorre quando a superfície na qual a luz incidiu absorveu aquela luz ou parte dela. Isso é perceptível ao usar roupas pretas sob o Sol. O preto é a “cor” que sofre maior absorção, por isso roupas escuras esquentam mais que roupas de tons claros.

O fenômeno que ocorre pela passagem da luz por dois meios distintos, mudando sua velocidade e por vezes sua direção de propagação recebe o nome de refração. Ao sair ou entrar de um meio para outro, a luz sofre uma mudança de velocidade e por isso o raio luminoso muda a direção de propagação. Esse é o fenômeno responsável por fazer com que um lápis que esteja metade imerso em um copo de água aparente estar quebrado ao meio, pois a luz que o ilumina sofreu refração.

Na *Figura 2.4* é possível observar um esquema do fenômeno da refração. A primeira lei de refração diz que o raio incidente, o raio refratado e a reta normal são coplanares. A

segunda lei da refração, também conhecida como lei de Snell-Descartes, é descrita na equação 2.1:

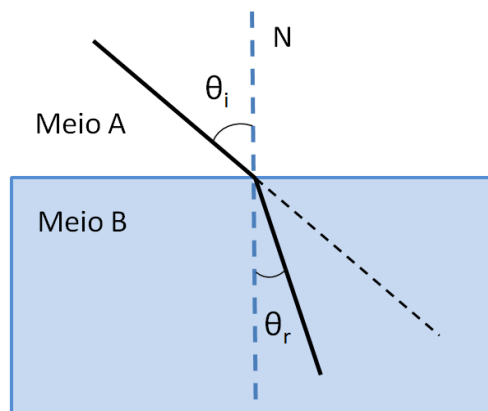
$$n_A \cdot \sin \theta_i = n_B \cdot \sin \theta_r \quad 2.1$$

Onde n é uma propriedade do meio chamada de índice de refração que reflete a razão da velocidade da luz no meio e no vácuo, cuja equação é:

$$n = \frac{c}{v} \quad 2.2$$

Na equação 2.2 c é a velocidade da luz e v representa a velocidade da luz no meio.

Figura 2.4: Na passagem de um raio de luz do meio A para o meio B o raio incidente muda de velocidade sofrendo refração. O ângulo incidente (θ_i) é diferente do ângulo de refração (θ_r). N é a reta normal, perpendicular à superfície.



É importante salientar que a mudança de direção não ocorre se o ângulo de incidência do raio luminoso for perpendicular à superfície, embora a mudança de velocidades no meio que caracteriza a refração continue acontecendo.

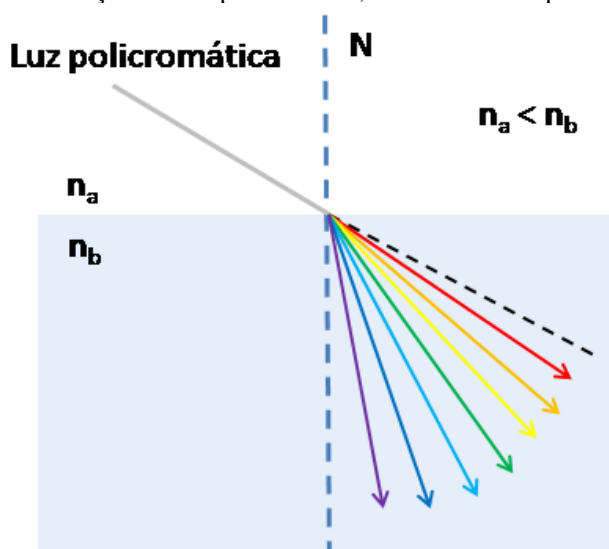
2.5.2. Fenômenos luminosos: dispersão e espalhamento

O espalhamento é um fenômeno no qual a luz proveniente de uma fonte qualquer encontra partículas minúsculas (poeira, moléculas, gotículas de água ou poluentes) que podem absorver parte da luz, mas tendo como efeito principal a modificação da trajetória do raio luminoso sem direção preferencial. A dispersão, por sua vez, pode ser entendida como um tipo específico de espalhamento em que a luz ao interagir com as partículas de um meio sofre

mudança de trajetória para uma direção preferencial, transmitindo ou refletindo a luz em uma direção diferente do feixe de luz original.

Um efeito particularmente interessante da dispersão é a dispersão cromática, que é um fenômeno que pode ocorrer quando uma luz policromática (composta por diversas cores) muda de meio de propagação. Cada parte componente desta luz sofre refração em um ângulo ligeiramente diferente do outro, de modo tal que a refração de uma luz policromática ao ser espalhada pela mudança de meio em que se propaga gera, dependendo do ângulo de incidência e da diferença do índice de refração entre os meios de propagação, o fenômeno de dispersão diferencial para cada cor, de maneira que sistematicamente algumas cores mudam mais de direção de propagação do que outras de forma ordenada, conforme todas as tonalidades entre o vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta, aqui na sequência crescente de ângulo de dispersão.

Figura 2.5: O raio de luz policromática incide em uma superfície com maior índice de refração e se decompõe, por conta da refração sofrida por cada raio, formando um espectro luminoso.



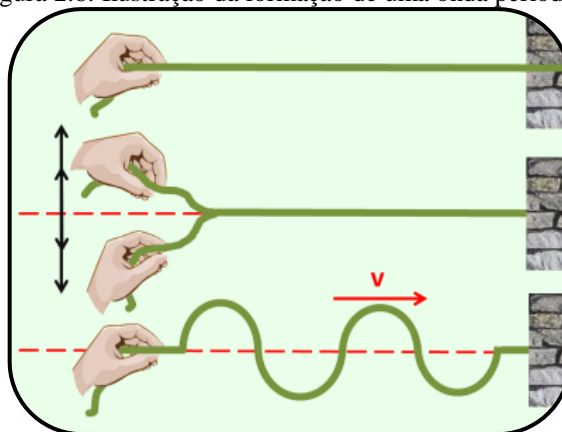
O fenômeno da dispersão é responsável pela formação de espectros de fontes luminosas.

2.5.3. Ondas periódicas

Imagine que você faz movimentos verticais de vai e vem com uma corda. A corda então assumiria uma forma semelhante a *Figura 2.6*. A cada movimento de subir e descer da

corda é gerado um pulso. Se houver uma sucessão de pulsos iguais dizemos que foi gerada uma onda periódica.

Figura 2.6: Ilustração da formação de uma onda periódica.



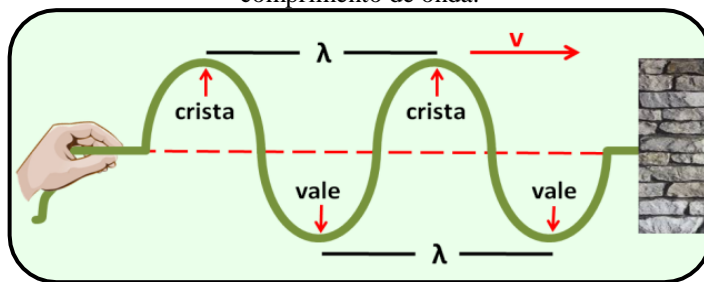
As ondas que somente se propagam em um meio material, são chamadas de ondas mecânicas como no exemplo da corda. As ondas eletromagnéticas se propagam em meios materiais e no vácuo.

As ondas também se diferenciam de acordo com a direção de vibração e de propagação. Se a direção de propagação e de vibração forem iguais, a onda é chamada de longitudinal ou ondas de compressão, como a onda sonora propagando-se no ar. Caso a direção de propagação for perpendicular à direção de vibração a onda é chamada de transversal, como por exemplo a onda na corda da *Figura 2.6* e as ondas eletromagnéticas.

A luz tem comportamento dual, podendo se comportar como onda eletromagnética ou como partícula. No caso do comportamento ondulatório, o que oscila é o campo elétrico. A variação do campo elétrico gera um campo magnético perpendicular formando uma onda eletromagnética.

A luz que enxergamos corresponde a uma faixa limitada das ondas eletromagnéticas possíveis, relacionadas às diferentes frequências de vibração do campo eletromagnético. Uma onda é caracterizada principalmente pela distância que ela percorre entre dois momentos sucessivos iguais de uma oscilação, que é chamada de comprimento de onda, representado pela letra grega lambda (λ). As unidades mais usadas para ondas visíveis são o nanômetro (nm) = 10^{-9} m ou o Angstrom (\AA) = 10^{-10} m. A amplitude de uma onda é caracterizada pela distância entre o ponto de equilíbrio (linha tracejada em vermelho na *Figura 2.7*) e o ponto mais distante do equilíbrio, chamado de crista.

Figura 2.7: Características de uma onda. A distância entre dois vales ou entre duas cristas é chamada de comprimento de onda.



Na *Figura 2.7*, vemos que cada ponto mais alto da onda transversal se chama crista, e cada ponto mais baixo é chamado de vale. O λ pode ser facilmente medido como a distância entre duas cristas ou dois vales.

O período (T), representa o tempo que a onda gasta para completar um ciclo, ou seja, o tempo para uma onda percorrer um comprimento de onda. Em uma oscilação a onda se propaga uma distância λ , e para tanto leva um intervalo de tempo igual ao período T da onda, portanto:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad 2.3$$

Depois de um tempo t , múltiplo inteiro de T , se registram n comprimentos de onda iguais. Ou seja $n = t/T$. A frequência (f) é a quantidade de vezes que um fenômeno (uma oscilação) se repete por unidade de tempo, ou seja, $f = n/t$, por tanto:

$$T = \frac{1}{f} \quad 2.4$$

A unidade do período T no sistema Internacional de Unidades (S.I.) é o segundo (s). Já a unidade de frequência no S.I. é o Hertz (Hz), sendo um Hertz é igual a s^{-1} . Assim, pela *Equação 2.4* nota-se que o período é o inverso da frequência.

Substituindo a *Equação 2.4* na *Equação 2.3* teremos então que:

$$v = \lambda \cdot f \quad 2.5$$

Onde v é a velocidade de propagação da onda em um meio. A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no ar é aproximadamente igual a do vácuo, ou 3×10^8 m/s. Algebricamente a velocidade da luz no vácuo é chamada de c .

No fenômeno luminoso chamado dispersão (*seção Erro! Fonte de referência não encontrada.*) é mais bem explicado quando associado ao conceito de comprimento de onda: os raios de luz com menor comprimento sofrem mais dispersão, pois seu tamanho permite que elas interajam mais facilmente com as partículas de um meio, essa tendência gera um espalhamento seletivo. Este é o responsável pela cor azul do céu, isso porque a luz policromática do Sol tem sua parte azul (menor comprimento de onda) mais espalhada pelas moléculas do ar como o oxigênio e o nitrogênio.

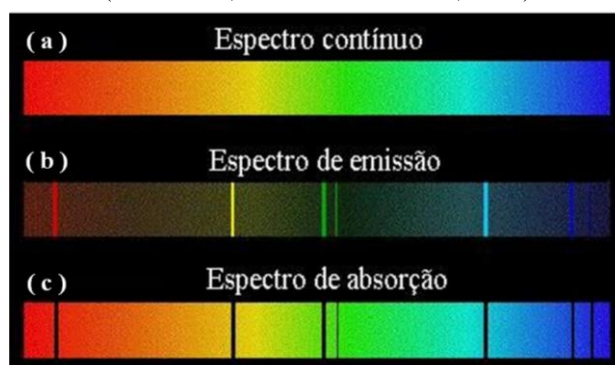
2.5.4. Leis de Kirchhoff

Em 1859, os trabalhos desenvolvidos pelo físico alemão Gustav R. Kirchhoff (1824-1887) e o químico inglês Robert Bunsen (1811-1899) estudavam, com o uso de um espectroscópio, a luz emitida pela queima de sais de diferentes elementos químicos com o bico de Bunsen (*Figura 1.2*). Com base nestes estudos, Kirchhoff elaborou de forma empírica as chamadas leis de Kirchhoff. São elas:

- 1) *Um corpo opaco e quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo. Na Figura 2.8 (a) temos um exemplo deste tipo espectral.*
- 2) *Um gás transparente e aquecido gera um espectro de linhas de emissão, no qual observa-se linhas discretas e brilhantes como visto na Figura 2.8 (b). A quantidade e a posição dessas linhas dependem da composição química do gás.*
- 3) *Se um espectro contínuo passar por um gás com menor temperatura, há a formação de um espectro de absorção, exemplificado na Figura 2.8 (c). Esse nome vem do fato deste espectro ter a aparência de um espectro contínuo do qual foram tiradas alguma linhas espectrais causando a presença de linhas escuras (absorção). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.*

As linhas emitidas por um espectro de emissão de certo gás, são idênticas às linhas de um espectro de absorção desse mesmo gás. Ou seja, para certo gás, as linhas brilhantes do espectro de emissão estão na mesma posição das linhas escuras de um espectro de absorção. É possível observar isso na *Figura 2.8*.

Figura 2.8: Tipos de espectros: (a) espectro contínuo. (b) espectro de emissão. (c) espectro de absorção. Fonte: (SARAIVA, FILHO e MÜLLER, 2018)



Devemos observar que as linhas de absorção apresentam-se escuras apenas por possuírem emissão mais fraca que o resto do espectro contínuo. Ao absorver certa porção de luz o gás a reemite, caso contrário este gás acabaria aquecendo. Entretanto a reemissão é feita em todas as direções causando uma diminuição do fluxo que vem da fonte luminosa em nossa direção. Por este motivo é possível observar os espectros de absorção.

Cada elemento químico possui um espectro característico, como uma impressão digital. Logo se tornou possível analisar a composição química de uma substância através da luz emitida pela sua queima, abrindo um vasto leque de possibilidades de análises químicas. A Astronomia se beneficiou especialmente dessa descoberta, pois até então se acreditava que os conhecimentos sobre os corpos celeste limitavam-se ao que pusesse ser extraído através da observação de seus movimentos relativos. Esse fato é expresso em uma citação de Augusto Comte (1798-1857) em seu “Curso de filosofia positiva”, publicado em 1835:

No que respeita às estrelas, todas as investigações que não sejam, em última análise, redutíveis a simples observações visuais nos são [...] necessariamente negadas. Embora possamos conceber a possibilidade de determinar suas formas, tamanhos e movimentos, nunca seremos capazes, por nenhum meio, de estudar sua composição química ou teor mineralógico (COMTE, 1835) apud (PEDUZZI, 2008).

Atualmente a espectroscopia é uma das principais ferramentas utilizadas pelos astrônomos.

2.5.5. A origem das linhas espectrais e a quantização da energia

No início do século XX, os cientistas começaram a compreender melhor a formação dos espectros à medida que aperfeiçoavam seus conhecimentos a respeito da estrutura dos

átomos e da natureza da luz. A resposta para a formação de linhas espectrais surgiu da teoria da quantização da energia.

Em 1885, J. J. Balmer (1825-1898) descobriu, empiricamente, que os quatro comprimentos de onda do espectro do hidrogênio até então conhecidos, H_α , H_β , H_γ , H_δ , podiam ser encontrados através da relação matemática

$$\lambda_n = 3645,6 \left(\frac{n^2}{n^2 - 4} \right) \quad 2.6$$

Onde n só assume valores inteiros ($n=1, 2, 3, \dots$). Isso resulta que os níveis de energia do átomo deviam ser quantizados. A equação de Balmer foi obtida, pois já se conhecia que havia certa simetria nas linhas espectrais do hidrogênio.

Em 1900, o cientista alemão Max Planck desenvolveu o modelo da quantização da luz, segundo o qual a matéria emite luz em “pacotes” de energia que ele denominou *quanta*. Cada “pacote” tem uma energia que varia de acordo com a frequência da luz como múltiplos inteiros da energia básica do fóton:

$$E_{\text{fóton}} = h \cdot f \quad 2.7$$

Onde h é a constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s) e f é a frequência da luz emitida.

Ao estudar o efeito fotoelétrico, Albert Einstein, em 1905, considerou que a luz além de ser emitida, também se propaga no espaço na forma de “quantas” de energia. Em 1924, Einstein percebeu que a quantização da luz poderia explicar o efeito fotoelétrico se estas energias específicas pudessem estar associadas a uma energia intrínseca dos fótons, cuja energia poderia ser transmitida aos elétrons para, realizando o “trabalho” para libertar os elétrons de um dado material.

Louis de Broglie sugeriu então que a dualidade no comportamento do fóton poderia implicar na existência do momento (p) de um fóton, ou de qualquer partícula, podendo ser descrita como:

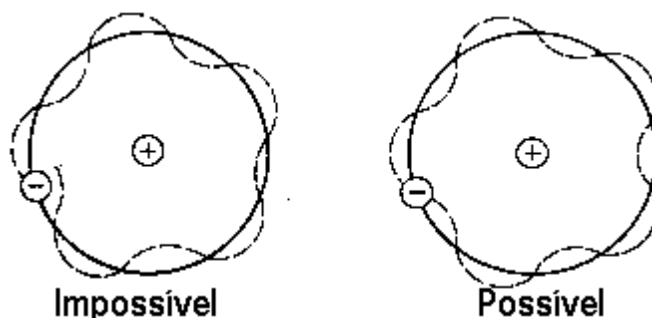
$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c} \quad 2.8$$

Niels Bohr, em seus estudos sobre o átomo, fez em 1913, dois postulados fundamentais: 1) O elétron só pode orbitar o núcleo em certas órbitas específicas, nas quais ele não perde energia na forma de radiação. 2) Um elétron emite radiação quando passa de uma órbita pra outra e a energia da radiação emitida é igual à diferença entre as energias das órbitas.

Partindo do modelo de atômico de Bohr, de Broglie supôs que as órbitas possíveis para um elétron deveriam conter um número inteiro de comprimentos de onda, como exemplifica a *Figura 2.9*. Logo temos a *Equação 2.9* que relaciona o comprimento da órbita com um comprimento de onda, onde r é o raio da órbita e n é o número inteiro de comprimentos de onda (λ).

$$2 \cdot \pi \cdot r = n \cdot \lambda \quad 2.9$$

Figura 2.9: Segundo de Broglie, um elétron só pode permanecer em uma órbita se esta possuir um número inteiro de comprimentos de onda da uma dada radiação. Como $E = h \cdot f$ a energia de um orbital deve se quantizada. Fonte: (SARAIVA, FILHO e MÜLLER, 2018).



Segundo a lei de Coulomb (Charles Coulomb (1736-1806)), o módulo da força elétrica (F_C) entre o núcleo (composto de prótons e nêutrons) e o elétron (e) é dada por:

$$F_C = \frac{K \cdot e^2}{r^2} \quad 2.10$$

A força centrípeta (F_C) que age sobre o elétron é expressa por:

$$F_c = \frac{m_e \cdot v^2}{r} \quad 2.11$$

A força centrípeta é gerada pela força de Coulomb, igualando-as temos:

$$\frac{K \cdot e^2}{r^2} = \frac{m_e \cdot v^2}{r} \quad 2.12$$

Isolando a velocidade do elétron temos:

$$v = \left(\frac{K \cdot e^2}{m_e \cdot r} \right)^{1/2} \quad 2.13$$

Inserindo a velocidade na equação do momento (p_e) do elétron:

$$p_e = \frac{h}{\lambda_e} \quad 2.14$$

Pela *Equação 2.8* o momento de cada elétron está relacionado com o comprimento de onda (λ) associado a este elétron.

$$p_e = \frac{h}{\lambda_e} \Rightarrow \lambda_e = \frac{h}{p_e} \quad 2.15$$

Segundo de Broglie a órbita só pode conter um número inteiro de comprimentos de onda, então substituindo a *Equação 2.14* na *2.15*, e por fim na *Equação 2.9*, temos:

$$2 \cdot \pi \cdot r = n \cdot \lambda_e = \frac{n \cdot h}{p_e} = n \cdot h \cdot \left(\frac{r}{m_e \cdot K \cdot e^2} \right)^{1/2} \quad 2.16$$

Isolando o raio da órbita obtemos:

$$r = n \cdot \left(\frac{h}{2 \cdot \pi} \right) \cdot \left(\frac{r}{m_e \cdot K \cdot e^2} \right)^{1/2} \quad 2.17$$

Elevando ao quadrado e considerando que $\hbar = h/2 \cdot \pi$:

$$r^2 = \frac{n^2 \cdot \hbar^2 \cdot r}{m_e \cdot K \cdot e^2} \quad 2.18$$

Dividindo por r chegamos ao raio de Bohr:

$$r = \frac{n^2 \cdot \hbar^2}{m_e \cdot K \cdot e^2} \quad 2.19$$

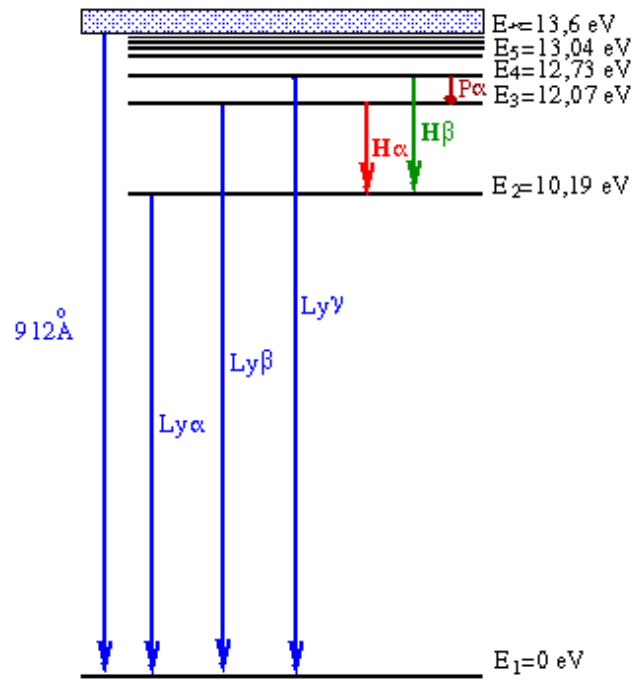
Lembrando que a energia total é a energia cinética mais a energia potencial a energia total (E) é dada por:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 - \frac{K \cdot e^2}{r} = -\frac{K^2 \cdot e^4 \cdot m_e}{2 \cdot n^2 \cdot \hbar} = -\frac{2,18 \cdot 10^{-11} \text{ergs}}{n^2} \quad 2.20$$

$$E = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2} \quad 2.21$$

Onde $n = 1, 2, 3, \dots$ só assume valores inteiros, o que resulta no fato dos níveis de energia serem quantizados. A *Figura 2.10* ilustra os níveis de energia do átomo de hidrogênio. Caso um elétron absorva uma energia superior a 13,6 eV (elétron-volts), ele será liberado do átomo e sua energia pode assumir qualquer valor, o que significa que a sua energia deixa de ser quantizada passando para a região do contínuo. Entretanto, o modelo descrito por Bohr apresenta resultados coerentes apenas para o átomo de hidrogênio, que só possuem um próton e um elétron. Para outros átomos só é possível obter a energia de cada nível utilizando a Mecânica Quântica.

Figura 2.10: Níveis energéticos do átomo de hidrogênio. Fonte: (SARAIVA, FILHO e MÜLLER, 2018)



Com a conclusão de que a energia que um átomo absorve ou cede é quantizada, ou seja, é constituída de pacotes energéticos com valores bem definidos, por conservação de energia, quando um átomo passa de um nível de energia maior, n_1 para outro de energia menor, n_2 , dizemos que ele passa para um estado menos excitado e há emissão de um fóton com a energia excedente:

$$E_{\text{fóton}} = E_{(n_1)} - E_{(n_2)} \quad 2.22$$

Substituindo a Equação 2.7 na Equação 2.22 temos que, para satisfazer a quantização dos estados, um átomo de hidrogênio só pode emitir fótons com energia igual à diferença energética entre dois estados:

$$h \cdot \nu = E_{(n_1)} - E_{(n_2)} = 13,6 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad 2.23$$

Ou em termos de comprimento de onda:

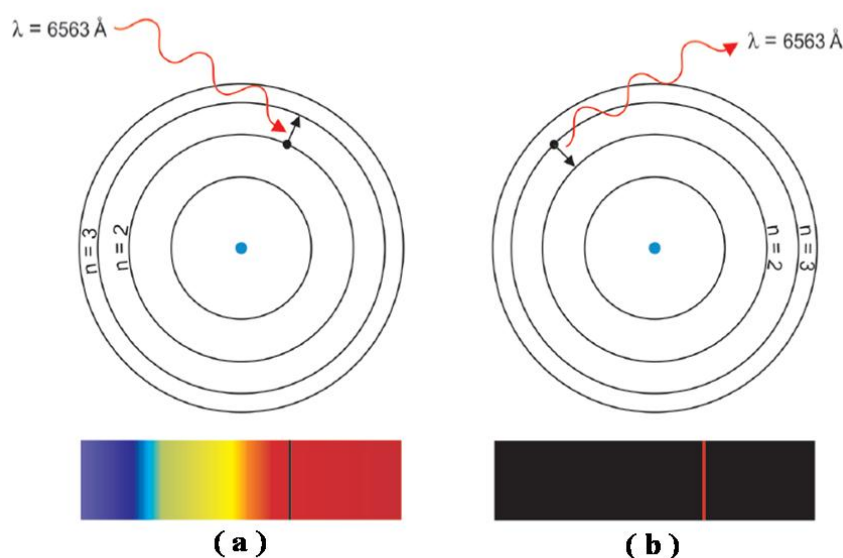
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{13,6 \text{ eV}}{h \cdot c} \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = \frac{1}{912\text{\AA}} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad 2.24$$

A Equação 2.24 já tinha sido obtida empiricamente para $n_1 = 2$ por Johann Jakob Balmer em 1885, por isso as linhas de E_n para E_2 são chamadas de linhas de Balmer e estão na região visível do espectro. As linhas E_n para E_1 são chamadas de linhas de Lyman, e se localizam na região ultravioleta (SARAIVA, FILHO e MÜLLER, 2018).

Assim, num átomo de hidrogênio, o elétron só pode absorver energia de forma quantizada e quando isso acontece, o elétron passa de um nível de menor energia para um de maior energia. No caso do elétron liberar energia, ele o fará também de forma quantizada. A energia será liberada na forma de um fóton e o elétron passa para um estado de menor energia. O princípio da absorção e perda de energia na forma de fótons é válido para todas as transições de qualquer tipo de átomo, entretanto, como já foi dito, os modelos de previsão de níveis energéticos para outros átomos são derivados da Mecânica Quântica.

As transições de estado quântico dão origem às linhas espectrais. Quando há absorção de energia pelo elétron observamos uma linha de absorção no espectro contínuo (Figura 2.11 a). Quando o elétron passa de um estado mais excitado para um menos excitado ele emite um fóton característico desta transição, gerando uma linha de emissão (Figura 2.11 b).

Figura 2.11: (a) Formação da linha de emissão $H\alpha$ no átomo de hidrogênio. Um elétron sai do estado energético E_2 e vai para o estado E_3 , após absorver luz com λ específico para esta transição. (b) Formação da linha de emissão $H\alpha$ (linha brilhante), após o elétron perder energia na forma de um fóton de luz com $\lambda = 6563 \text{ \AA}$. Fonte: (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004)



2.5.6. O espectro eletromagnético

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas existentes está exposto no espectro eletromagnético (*Figura 2.12*). Ele é uma distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência (UFRGS, 2018) e engloba radiações desde os raios gama radiação com maior frequência, até ondas de rádio, que possuem baixas frequência.

Para facilitar análises espectrais, o espectro eletromagnético foi dividido em bandas, que são intervalos de frequência usados para classificar o tipo de radiação. A *Figura 2.13* traz um quadro com informações sobre as bandas energéticas de um espectro.

Figura 2.12: Representação gráfica de do espectro eletromagnético em comprimento de onda. Note que a região da luz visível do espectro é muito pequena em relação à outras radiações.

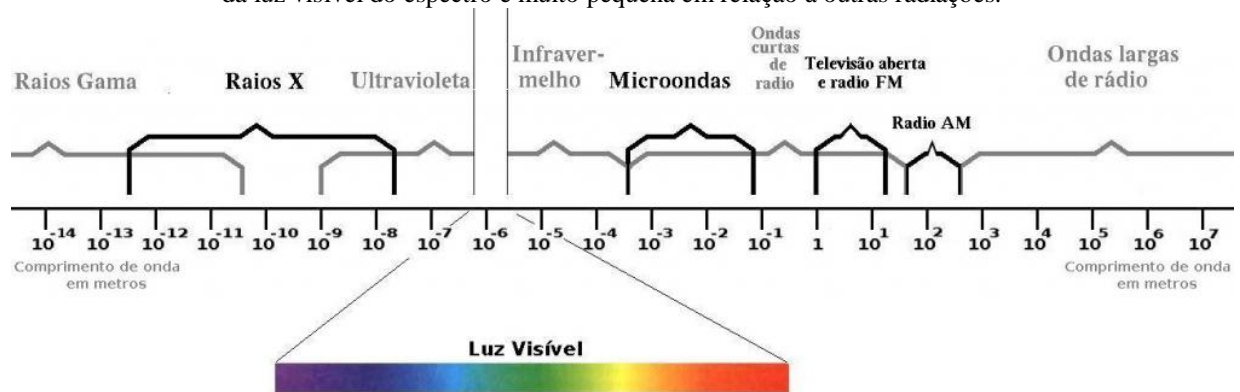


Figura 2.13: Quadro com regiões (bandas) espectrais e algumas informações sobre elas.Fonte: (UFRGS, 2018).

Espectro de Radiação Eletromagnética				
Região	Comp. Onda (Angstroms)	Comp. Onda (centímetros)	Frequência (Hz)	Energia (eV)
Rádio	$> 10^9$	> 10	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infra-vermelho	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visível	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios-X	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	< 0.1	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

É possível notar que todas as radiações eletromagnéticas são ondas que diferem entre si apenas por seu comprimento de onda e sua frequência.

2.5.7. O efeito Doppler

O Efeito Doppler é caracterizado pela variação do comprimento de onda (ou frequência) de uma certa fonte emissora em função da sua velocidade relativa ao observador. Isso é facilmente observado pela variação da frequência do som da sirene de um veículo ao se aproximar ou se afastar de um observador. Um observador em repouso na calçada percebe o som mais agudo quando a sirene se aproxima (o comprimento de onda diminui) e mais grave quando a sirene se afasta (comprimento de onda aumenta). Entretanto para o motorista do veículo com a sirene, o som permanece sempre igual, pois sua velocidade relativa à sirene é nula.

O Efeito Doppler ocorre com qualquer tipo de onda, inclusive com as eletromagnéticas. Na Astronomia ele é usado para se conhecer a velocidade relativa de uma fonte luminosa. Assim, tornou-se possível conhecer a velocidade relativa de estrelas e galáxias, por exemplo. Logo, quando a fonte astronômica possui uma velocidade relativa, todo o seu espectro se desloca e adquire comprimentos de onda diferentes a depender se aproxima ou se afasta do observador.

Vamos supor que um observador está fixo (nosso caso na Terra) e que uma fonte emissora de ondas (por exemplo, uma estrela) esteja se movendo em relação ao observador com uma velocidade v_{fonte} . Logo, baseado em 2.3, para uma onda eletromagnética teremos:

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad 2.25$$

Onde c é a velocidade da onda, no caso a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda, e T é o período da onda.

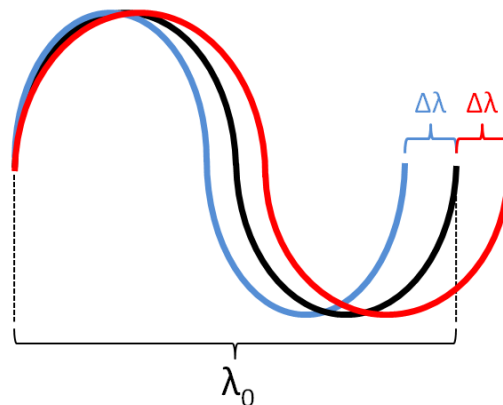
Quando uma fonte emissora de ondas se aproxima de um observador, este irá perceber que mais frentes de onda chegam a ele por unidade de tempo. Ou seja, a onda emitida por uma fonte em movimento com relação a um referencial sofre uma variação no seu tamanho (diminuição ou aumento). No caso da fonte emissora estar se aproximando do observador este

percebe a onda como na *Figura 2.14*, logo ele nota que há um $\Delta\lambda$, que ocorre em um certo tempo (T). Assim temos a equação:

$$v_{\text{fonte}} = \frac{\Delta\lambda}{T} \quad 2.26$$

Onde $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, sendo λ_0 o comprimento de onda emitido pela fonte emissora e λ o comprimento de onda recebido pelo observador. Isto corresponde a quanto o comprimento de onda vai ser observado como comprimido ou estendido devido ao deslocamento relativo da fonte ao se aproximar ou se afastar, respectivamente.

Figura 2.14: Quando uma fonte de ondas possui uma velocidade relativa a um observador ocorre o Efeito Doppler, que gera uma variação no comprimento de onda ($\Delta\lambda$) percebida pelo observador. No caso da onda azul, a fonte está se aproximando do observador e no caso da onda vermelha a fonte está se afastando. A onda em preto (λ_0) é o comprimento de onda que emitido pela fonte.



Substituindo a *Equação 2.25* na *Equação 2.26* obtemos o deslocamento característico da onda que viaja com certa velocidade v_{fonte} , que a partir de agora chamaremos apenas de v . Temos então que:

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = z \quad 2.27$$

A razão entre a velocidade relativa da fonte e a velocidade da luz, uma referência padrão é chamada z . Caso a fonte emissora estiver se afastando do observador o sinal de v fica positivo e se a fonte estiver se aproximando o sinal de v fica negativo. O sinal da velocidade reflete no z .

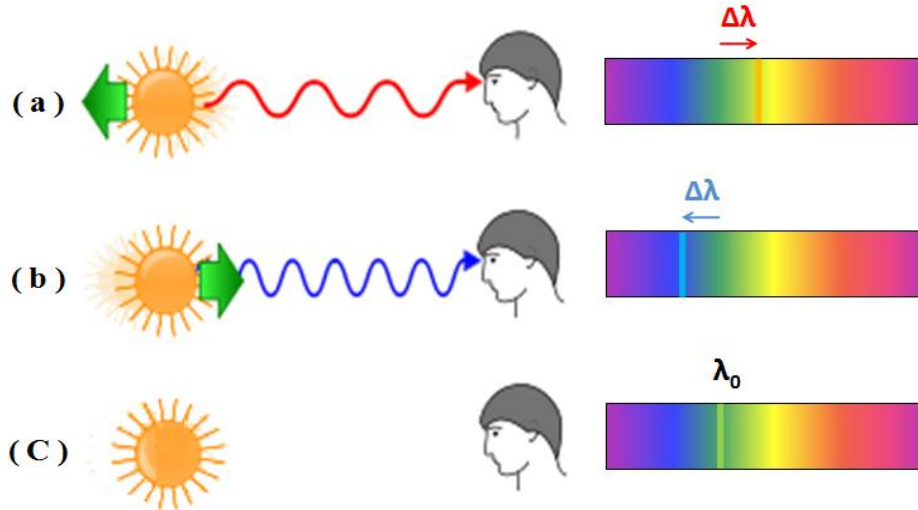
Esta variação do comprimento de uma onda devido à velocidade relativa entre a fonte e o observador foi utilizada para analisar a luz provinda de galáxias. Edwing Hubble identificou que sistematicamente (ou seja, excluindo-se exceções) as galáxias apresentam deslocamentos das linhas para comprimentos de onda maiores. Considerando que os limites de comprimentos de onda máximo e mínimo do espectro visível são o vermelho e o azul respectivamente, em analogia com a visão humana, quando há aumento em um comprimento de onda específico devido ao efeito Doppler se diz que houve um deslocamento para o “vermelho” deste comprimento de onda. Daí o nome que se dá a este fenômeno *redshift* “deslocamento para o vermelho” em inglês. Do mesmo modo, quando há uma diminuição no comprimento de onda se diz que houve um *blueshift* “deslocamento para o azul”. Assim é possível medir a velocidade de deslocamento da fonte emissora da radiação (onda eletromagnética ou onda sonora).

Para ondas eletromagnéticas cuja velocidade é igual a da luz podemos dizer que:

$$v = c \cdot z \quad 2.28$$

Em resumo se z for positivo o objeto está se afastando do observador. Neste caso a onda sofre um aumento no seu tamanho, sendo detectada por um observador em repouso em um comprimento de onda mais próximo do vermelho do que o comprimento de onda original, e por isto chamado de *redshift* (*Figura 2.15: (a) Afastamento da fonte luminosa gera um redshift nas linhas do espectro. (b) Aproximação da fonte luminosa gera um blueshift nas linhas do espectro.*). Se z for negativo o objeto está se aproximando do observador, portanto a onda sofre uma diminuição no seu tamanho, gerando o efeito respectivo chamado (*Figura 2.15: (a) Afastamento da fonte luminosa gera um redshift nas linhas do espectro. (b) Aproximação da fonte luminosa gera um blueshift nas linhas do espectro.*).

Figura 2.15: (a) Afastamento da fonte luminosa gera um *redshift* nas linhas do espectro. (b) Aproximação da fonte luminosa gera um *blueshift* nas linhas do espectro. (c) Espectro com comprimento de onda da fonte (λ_0), onde não há velocidade relativa entre a fonte e o observador.



É importante lembrar que o desvio Doppler *absoluto* $\Delta\lambda$ é proporcional ao comprimento de onda de laboratório λ_0 , isto é:

$$\Delta\lambda = \lambda_0 \cdot \frac{v}{c} \quad 2.29$$

A linha de menor λ_0 terá um menor $\Delta\lambda$ e a de maior λ_0 um maior $\Delta\lambda$.

Note que o Efeito Doppler é usado para medir velocidades em diversas situações astrofísicas, incluindo também movimentos do gás no interior da nossa galáxia ou em outras galáxias, jatos de matéria em núcleos ativos, etc (UFRGS, 2018). O efeito Doppler aqui descrito apenas é válido para o Universo local, ou seja, para distâncias menores que cerca de 1,5 bilhão de anos-luz. Além desse limite, os efeitos relativísticos devem ser considerados.

3. METODOLOGIA

3.1. Contexto

A sequência didática elaborada foi aplicada no Colégio Estadual Nelson Mandela, que está situado na Rua Depurado Mato Teles N° 460, bairro Luzia, em Aracaju-SE. Esse estabelecimento é composto por 19 salas de aula, secretaria, diretoria, sala de professores e coordenação pedagógica, cozinha, depósito, quadra poliesportiva, sala de vídeo, sala de informática e biblioteca, sendo os três últimos espaços climatizados. Na *Figura 3.1*, temos imagens da escola e podemos ver uma das salas onde foi aplicada a sequência didática.

Figura 3.1: Colégio Estadual Nelson Mandela. Fachada (esquerda). Uma das salas de aula (direita).

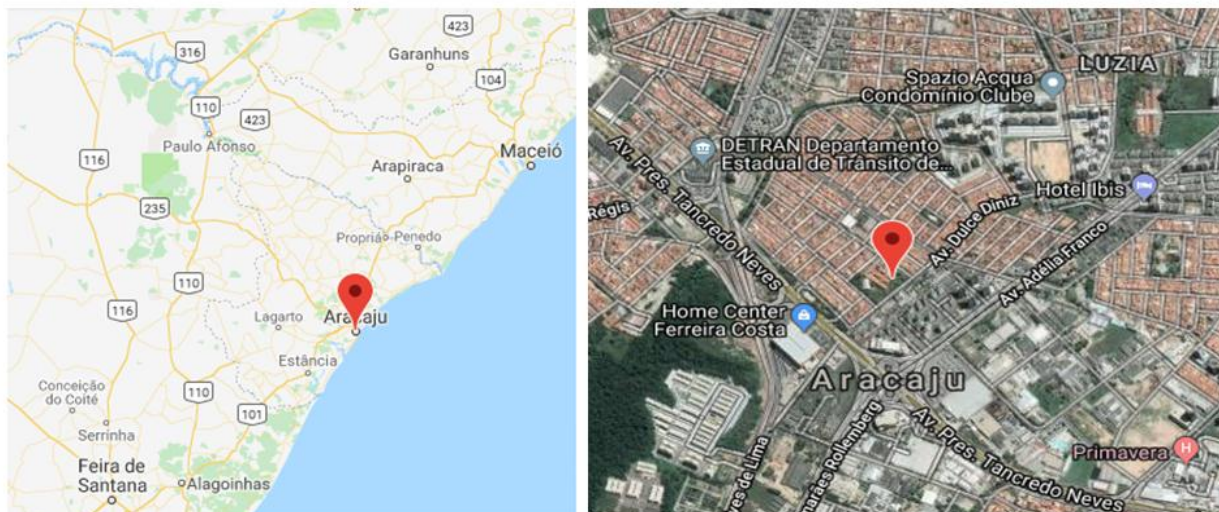


Esta instituição atende cerca de 840 alunos em dois turnos e oferece os dois últimos anos do Ensino Fundamental (8º e 9º anos) com 452 alunos matriculados nesta modalidade e os três anos do Ensino Médio com 387 matrículas.

A escola está localizada em um bairro movimentado e de fácil acesso já que se encontra próximo a um dos mais importantes terminais de integração de ônibus intramunicipais. A maioria de seus alunos advém do bairro Santa Maria localizado a aproximadamente 8 km da escola *Figura 3.2*. O governo do estado fornece ônibus escolares para a locomoção dos alunos. Não há problemas graves de indisciplina, embora esta seja constante e dificulte o bom andamento das aulas. No ano de aplicação do nosso produto educacional a escola sofreu com a falta de executor de serviços gerais o que fazia com que

frequentemente as salas de aula não fossem limpas adequadamente. As turmas possuíam uma média de 35 alunos matriculados.

Figura 3.2: Localização geográfica da escola. Fonte: Google Maps. (SEED, 2017)



No turno da manhã o Ensino Médio é composto por quatro turmas do primeiro ano, três turmas do segundo ano e duas turmas do terceiro ano. As aulas têm duração de 50 min.

3.2. Sujeitos pesquisados: população e amostra

O produto educacional criado neste trabalho é destinado a alunos do 2º ano do Ensino Médio por contemplar temas do currículo desta série. Tradicionalmente estes temas são ministrados no final do segundo semestre. Participaram deste experimento didático uma turma do segundo ano com três aulas semanais e uma turma do terceiro ano com duas aulas semanais, ambas do turno matutino do Ensino Médio do Colégio estadual Nelson Mandela. A idealização dos nossos produtos teve como objetivo estimular os alunos no processo de aprendizagem dos conceitos de Física ondulatória, análise de gráficos, óptica física e radiações eletromagnéticas. A escolha dos alunos de uma turma do segundo ano para a aplicação do produto é estratégica, visto que neste momento eles terão conceitos de óptica e ondas e serão introduzidos ao tema “radiações eletromagnéticas” que será mais bem explorados no terceiro ano. Já a escolha de uma turma do terceiro ano teve como objetivo verificar a aplicação da técnica de aprendizagem cooperativa Jigsaw com alunos mais maduros e que podem se beneficiar dos conteúdos abordados como uma revisão de tópicos de ondulatória para o estudo de radiações eletromagnéticas.

3.3. Temas abordados na sequência didática

A partir dos temas estruturadores sugeridos pelos PCNs, desenvolveremos uma sequência didática com duração de três aulas que podem ser estendidas até cinco aulas.

Na primeira aula falamos da luz como uma onda visível em que cada oscilação específica se manifesta como uma cor assim como cada vibração de uma onda sonora se manifesta como um tom musical. Apresentamos as características de uma onda e o espectro eletromagnético. Falamos também dos sistemas de cores aditivo e subtrativo. Tratamos também nessa aula sobre como e porque o olho humano é capaz de diferenciar as cores, trabalhando a interdisciplinaridade do tema entre a Física e a Biologia. Todo o conteúdo desta aula visa explorar aspectos subjetivos dos temas. Nessa etapa as análises terão caráter qualitativo, mas apontando a necessidade de aspectos quantitativos para dirimir desacordos subjetivos, como as diferentes opiniões de alunos sobre uma dada cor.

Nossa segunda aula aborda o conceito de cor, falando sobre sua dependência em relação à luz incidente e correlacionando com aspectos da vida do aluno onde falaremos das imagens astronômicas de falsa cor. Estas imagens são constantemente divulgadas nos meios de comunicação sem maiores esclarecimentos, o que pode criar a falsa ilusão nas pessoas de que as imagens apresentadas após um longo processo de pesquisa são aquelas que seriam observadas se a própria pessoa estivesse olhando através do instrumento. Também falamos sobre como se formam as variadas cores nas telas de dispositivos eletrônicos. Nesta etapa os alunos são orientados a construir seus próprios espectroscópios caseiros, onde podem fotografar seus espectros com câmeras de celular. No contexto da Astronomia exploramos a interdisciplinaridade com as disciplinas Matemática e Química, abordando ainda um significado prático para o uso de equação da reta, além de falar sobre a conversão entre escalas, e calibração em comprimento de onda de um espectro.

Finalmente na última aula faremos sobre os tipos de espectros e de que maneira são gerados. Falamos sobre como a espectroscopia nos dá indícios sobre a expansão do Universo através do Efeito Doppler em galáxias gerando o *redshift* ou o *blueshift*. O contexto em que este efeito é inserido foge da apresentação tradicional dos livros didáticos, nos quais o Efeito Doppler é maciçamente explorado na figura da sirene de uma ambulância. Os alunos conhecem ainda qual a relação entre o espectro bidimensional e o gráfico unidimensional de um espectro. Por fim, os alunos têm a oportunidade de realizar um exercício para encontrar um valor aproximado da constante de Hubble, e a idade do Universo.

As aulas foram idealizadas em uma escola sem sala de informática ou com salas sucateadas, um cenário ainda comum em muitas escolas brasileiras (CGI.BR, 2016). Por isso o uso de computadores no processo é feito apenas pelo professor, que necessita dele apenas para usar o Data Show.

3.4. Obtenção dos Espectros

Como parte do nosso produto, realizamos um estudo quantitativo de espectros de luz visível extraídos com espectrógrafos caseiros através do qual podemos facilmente ver parte significativa do espectro a olho nu. Essa atividade por si só, possui um potencial motivador para os alunos, mas além dela procuramos introduzir aspectos importantes da Física Investigativa ao apresentar métodos de quantificação dos espectros. Assim, realizamos comparações não apenas qualitativas entre espectros de diferentes fontes luminosas.

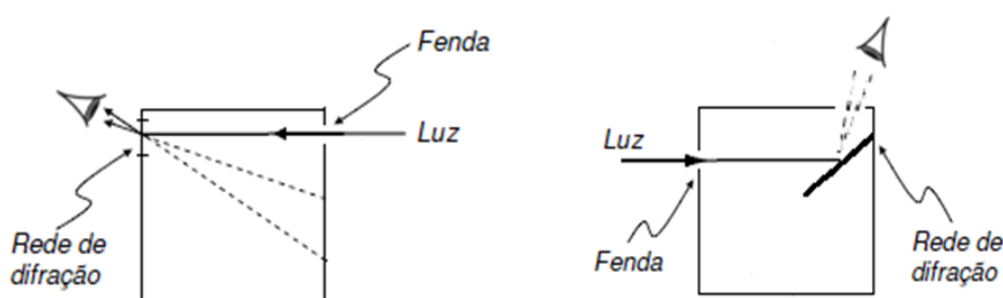
Em nossa pesquisa foi possível perceber que sequências didáticas com análises puramente qualitativas são comuns em artigos científicos e blogs educacionais, como (LACARRA e MAJCHER, 2016), (BARROS, ASSIS e LANGHI, 2016), (CATELLI e PEZZINI, 2002) e (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2004). Estas referências apresentam propostas de sequências e materiais didáticos nos quais a análise espectral é feita através de uma abordagem qualitativa, em que o aluno é beneficiado com a compreensão de conceitos reforçados com a observação dos espectros. No entanto acreditamos que uma análise quantitativa reforça o caráter preciso dos conceitos associados à luz, o que permite estabelecer um critério objetivo sobre a noção de cor, que numa análise puramente qualitativa estaria sujeito à subjetividade de cada indivíduo.

Diante a falta de materiais didáticos que trabalhem o tema de forma quantitativa, nós construímos como parte da sequência didática, uma atividade em que os alunos têm a possibilidade de calibrar um espectro e verificar, a partir da calibração, que elemento químico gera um dado espectro. Esta atividade está descrita na *seção 0*, e por meio dela, é possível extrair medidas e fazer correlações com uma gama maior de conteúdos, dentre eles a formação de cores e a análise de elementos químicos presentes em corpos celestes como estrelas, atmosfera de planetas, etc.

O princípio de funcionamento básico de um espectroscópio é que a luz da fonte luminosa que desejamos observar atravesse uma estreita fenda e incida em uma rede de difração. Então a luz sofre dispersão e podemos ver o seu espectro (XAVIER, 2016).

Para a obtenção dos espectros caseiros, que compõe a atividade descrita em 0, nós construímos um espectroscópio eleito entre diversos modelos descritos na literatura. Concentramos-nos em dois modelos de espectroscópios caseiros: o de transmissão e o de reflexão. No primeiro, parte da luz atravessa a rede de difração e em seguida difrata. No segundo a luz é dispersa ao incidir na rede e ao refletir gera o espectro. A *Figura 3.3* traz um esquema dos modelos de espectroscópios. Nela observa-se o caminho que a luz percorre desde a sua entrada pela fenda até chegar ao observador.

Figura 3.3: Modelo de espectroscópio por transmissão (esquerda) e por reflexão (direita). Fonte: (USP-CDCC, 2016) modificada pelo autor.



Em nossa investigação, concluímos que o modelo de espectroscópio que usaríamos na obtenção dos espectros seria o de reflexão (*Figura 3.3*, à esquerda). Ele foi escolhido pela facilidade da sua montagem, o que minimiza o tempo gasto em sala de aula, o seu “custo-benefício”, já que pode ser feito com qualquer caixa e com CDs usados (melhores resultados são obtidos com CDs sem muitos arranhões). Citamos a facilidade de montagem porque o modelo de espectroscópio por reflexão exige que o CD fique colado na parte interna da caixa com um ângulo de aproximadamente 60° em relação ao feixe de luz incidente e essa montagem não é tão rápida quanto a que optamos.

3.4.1. Materiais e montagem

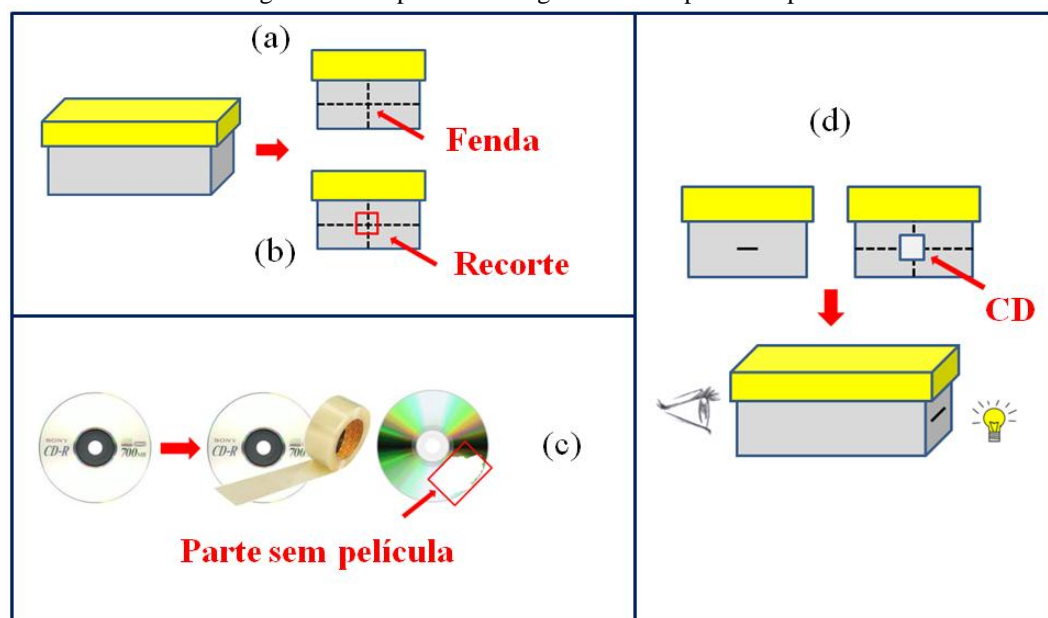
Para construção de nosso espectroscópio nós usamos:

- Caixa de sapatos;
- estilete;
- CD (pode ser usado);
- lápis;
- fita adesiva (preferência à larga);
- régua;
- tesoura.

Os passos da montagem do espectroscópio que foram entregues aos alunos foram os seguintes:

1. Meça a altura e a largura de um dos lados mais estreitos da caixa. Risque uma linha horizontal e vertical que passe exatamente no centro da lateral escolhida como na *Figura 3.4(a)*. Repita este procedimento na outra lateral estreita da caixa;
2. Em uma das laterais riscadas faça um corte horizontal (fenda) o mais preciso possível, de aproximadamente 3 cm no centro caixa (partindo do centro, 1,5 cm para cada lado). É possível fixar com fita isolante dois pedaços de papel cartão ou de lâminas de barbear de modo que fiquem bem próximas entre si, mas mantendo uma abertura em forma de fenda bem fina (não ultrapassar 1mm);
3. Na outra lateral riscada, com o auxílio do estilete faça um quadrado de aproximadamente 3 x 3 cm no centro da caixa *Figura 3.4(b)*;
4. Cole pedaços da fita adesiva na parte do rótulo do CD, e em seguida puxe-os para arrancar a película do CD, *Figura 3.4(c)*; Recorte, com a tesoura um pedaço de CD sem a película de aproximadamente 4x4 cm. Este funcionará como uma rede de difração, decompondo a luz que incide nela;
5. Por fim, fixe o pedaço do CD na frente do recorte quadrado feito na lateral da caixa, *Figura 3.4(d)*. Tenha o cuidado de posicionar as linhas do CD na mesma direção da fenda, caso contrário, o espectro apresentará distorções. Para observar espectros basta posicionar a fenda horizontal da direção de uma fonte luminosa e observar pelo outro lado onde está o pedaço de CD, como na parte inferior da *Figura 3.4 (d)*.

Figura 3.4: Etapas da montagem de um espectroscópio.



3.4.2. Obtenção e retificação de Espectros caseiros

Para as atividades de análise e calibração de espectros que propomos neste trabalho (APÊNDICE H) foi necessário antes obter os espectros que desejávamos. Um dos objetivos deste trabalho foi calibrar espectros através de linhas espectrais conhecidas que serviram de parâmetros, neste caso as linhas espectrais do mercúrio, presentes na luz de lâmpadas fluorescentes. Nós escolhemos esta lâmpada por ser a mais comumente utilizada atualmente em iluminação, com preço acessível e que apresenta um espectro de emissão com linhas bem destacadas.

Utilizamos o laboratório de Mecânica Quântica e Física Moderna do Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe e as lâmpadas de diversos elementos disponíveis lá para obter os espectros que serão utilizados em nossa atividade. Nós fotografamos com a câmera de um celular ao mesmo tempo espectros de uma lâmpada fluorescente e de uma lâmpada de vapor como visto na Figura 3.5. As lâmpadas de vapor usadas neste trabalho foram dos elementos Zinco (Zn); Sódio (Na), Cádmio (Cd) e Hélio (He) (Figura 3.6).

Figura 3.5: Montagem dos equipamentos para a obtenção de uma fotografia contendo o espectro da lâmpada de calibração e da lâmpada que será calibrada. 1. Espectroscópio; 2. Fonte de tensão variável; 3. Lâmpada fluorescente; 4. Lâmpada de vapor; 5. Suportes para as lâmpadas; 6. Fios de ligação.



Figura 3.6: Lâmpadas de vapor de: 1.Cádmio; 2. Mercúrio; 3.Sódio; 4. Hélio.



A formação do espectro visível ocorre quando um feixe de luz incide obliquamente em um prisma ou em uma rede de difração, como a superfície do CD. Ao atravessar a primeira face do prisma ou da rede de difração, a luz sofre dispersão, ou seja, ela é separada em seus componentes monocromáticos. Isso ocorre porque cada comprimento de onda que compõe a luz tem um índice de refração próprio e por isso cada onda é refratada em uma direção diferente, gerando a dispersão.

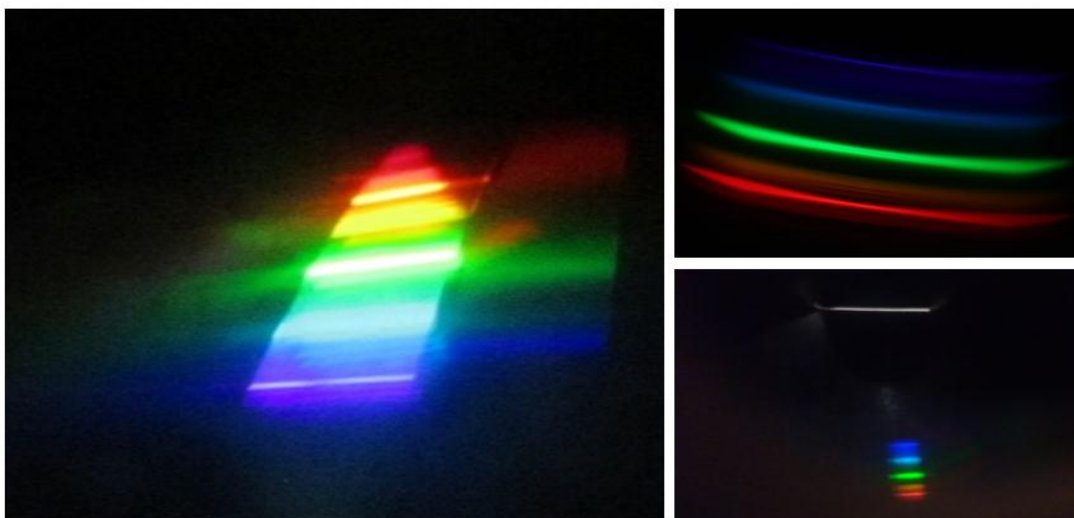
O espectroscópio usado para obtenção dos espectros foi construído conforme descrito na seção 0e no segundo cartão do APÊNDICE F. Na Figura 3.7, é possível ver como tiramos as fotografias dos espectros.

Figura 3.7: Focalização dos espectros usando a câmera de um celular.



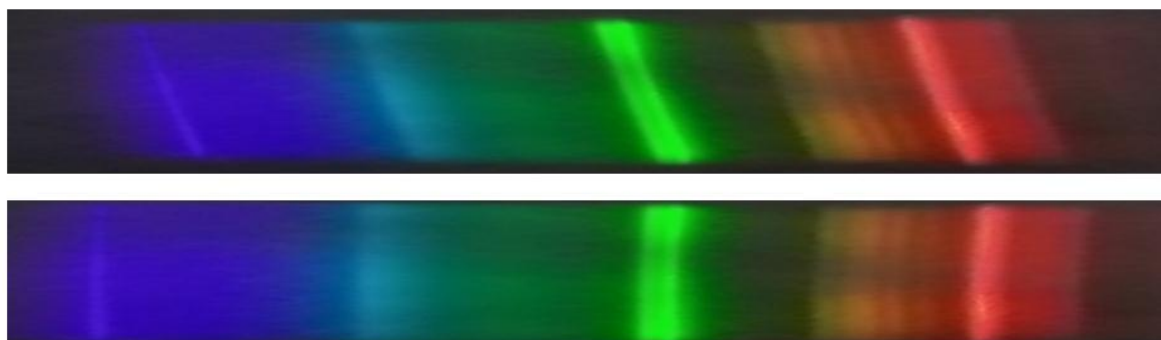
Na Figura 3.8 temos exemplos da aparência de espectros vistos através deste espectroscópio. É visível, através dos exemplos da Figura 3.8, que os espectros possuem uma inclinação, não mantendo a mesma largura nos dois extremos do seu comprimento devido a efeitos de perspectiva. Isso ocorre porque o espectro visível contínuo é composto por cores que tem em uma das extremidades a cor vermelha e na outra a violeta. Como a luz violeta possui maior índice de refração que a luz vermelha, ela sofre uma maior refração, ou seja, maior desvio em relação ao ângulo de incidência da luz. Esse desvio significa um maior distanciamento em relação ao observador da superfície de incidência. Esta é a razão pela qual os espectros obtidos com espectroscópios deste tipo apresentam distorções como na Figura 3.8.

Figura 3.8: Espectros de lâmpadas fluorescentes, onde há a presença do vapor de mercúrio, o qual é responsável pelas linhas de emissão mais intensas.



Para possibilitar o procedimento de medidas nos espectros devemos eliminar este efeito de inclinação, realizando um procedimento de retificação do espectro, como ilustrado na *Figura 3.9*. O processo de retificar visa garantir que o conjunto de linhas espectrais tenha cada qual uma mesma disposição física na direção de dispersão da imagem, ou seja, a mesma coordenada x ou y, dependendo da direção de dispersão. Com isto podemos garantir que todas as linhas mantenham entre si a mesma proporção que a real, sem efeitos geométricos. Sem esta correção, duas medidas feitas em posições diferentes do espectro forneceria valores de comprimento de onda diferentes para uma mesma linha espectral. Na parte superior da *Figura 3.9* está a imagem de um espectro recortado, porém sem correção de perspectiva e abaixo imagem do mesmo espectro, com o mesmo recorte, mas com correção de perspectiva.

Figura 3.9: espectro sem retificação (acima). E após a retificação (abaixo).



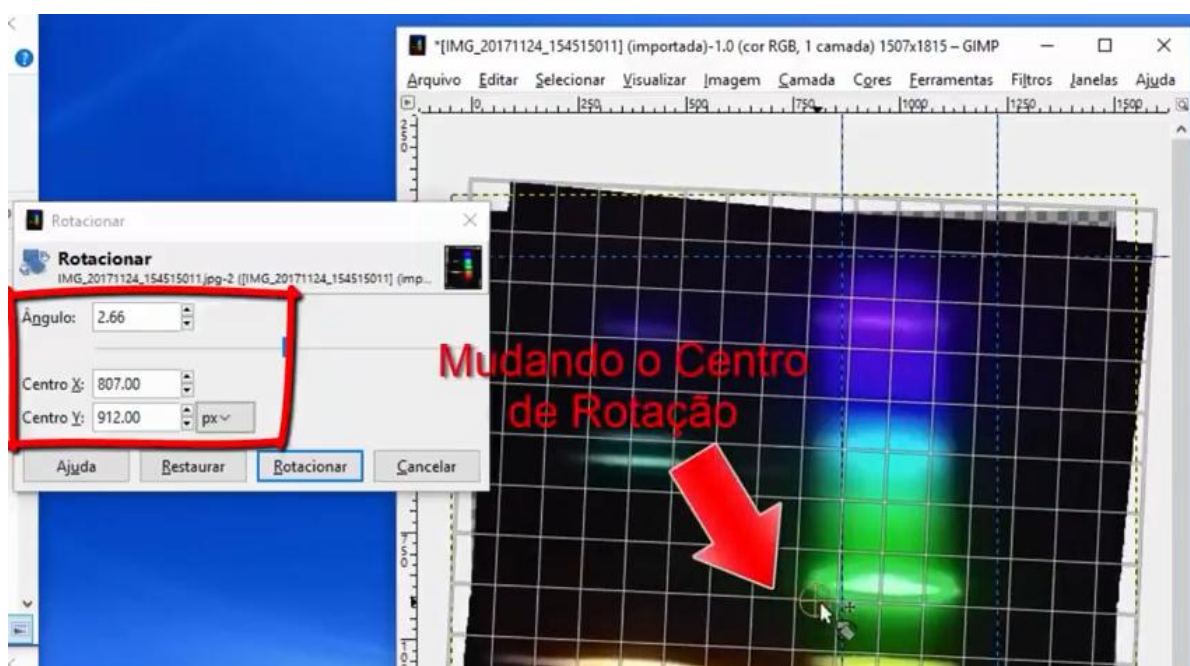
Para a descrição do processo de retificação, optamos por elaborar um vídeo tutorial que faz parte dos produtos educacionais desenvolvidos neste trabalho. A retificação é um procedimento necessário à elaboração do material didático que desenvolvemos.

3.5. Produtos educacionais desenvolvidos

3.5.1. Vídeos tutoriais

Visando orientar os leitores deste trabalho que desejem conhecer os procedimentos usados para retificar e possibilitar uma correta calibração dos espectros com os quais trabalhamos, foram produzidos dois vídeos tutoriais. No primeiro vídeo tutorial (SCARANO JR e PEREIRA, 2018a) é explicado detalhadamente com instalar o software livre GIMP (2017). Este é um editor de imagem de fácil utilização. No segundo vídeo (SCARANO JR e PEREIRA, 2018b), apresentamos um tutorial que mostra detalhadamente os passos para corrigir efeitos de perspectiva dos espectros fotografados, rotacioná-los quando necessário e fazer recortes para melhor aproveitamento da imagem. A *Figura 3.10* mostra uma imagem de um dos processos apresentados no vídeo tutorial.

Figura 3.10: Vídeo tutorial do canal do Youtube ASTUTOS-UFS que mostra com realizar a correção de perspectiva de um espectros(SCARANO JR e PEREIRA, 2018b).



Para gravar os vídeos utilizamos o programa Camtasia Studio 8 adquirido com verba governamental direcionada ao grupo de Astronomia, via INCTA (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Astrofísica).

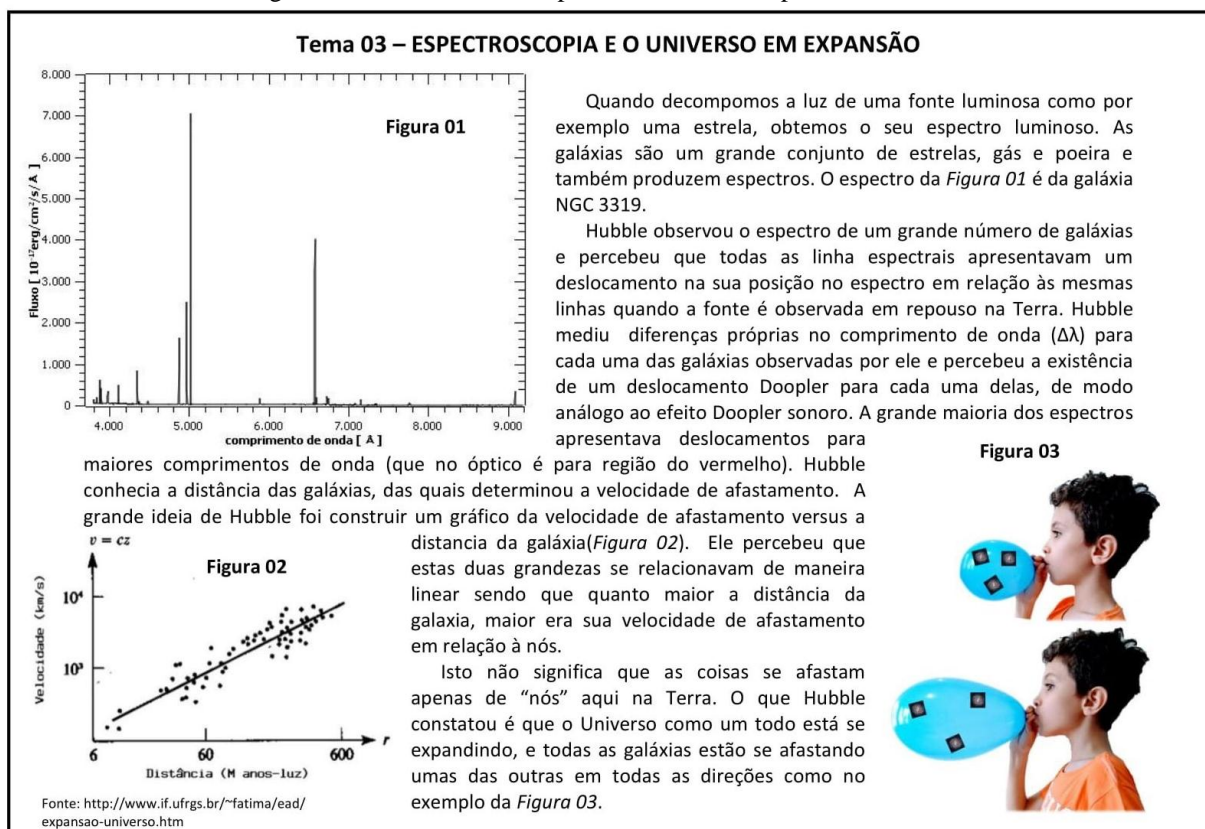
3.5.2. Cartões para aplicação do Método de ensino “Jigsaw”

O método de aprendizagem cooperativa Jigsaw, tem este nome (quebra-cabeças em Inglês) por propor a divisão do conteúdo a ser aprendido entre colegas de um grupo. Neste método a sala de aula é dividida em grupos colaborativos. Assim cada aluno aprende uma parte do assunto (peça do quebra-cabeças) e fica responsável por passar este conhecimento para os seus colegas de grupo. Este método coloca o aluno no papel de protagonista, corresponsável pelo seu aprendizado e o dos seus colegas. Neste processo o professor é um tutor, que auxilia tirando dúvidas e observando se os alunos estão passando corretamente os conteúdos a seus colegas.

Neste trabalho desenvolvemos uma sequência didática que aborda assuntos da Ondulatória e da Óptica Física. Para a aplicação do método Jigsaw, desenvolvemos cartões com os temas propostos, que contém o assunto a ser estudado e repassado por cada componente do grupo.

Os cartões foram feitos com uma linguagem fácil e descontraída e inserindo nos temas elementos motivadores da Astronomia, quando falamos, por exemplo, do Efeito Doppler em galáxias e como esse efeito indica que o Universo está em expansão. Na *Figura 3.11* temos um exemplo dos cartões. Nesta sequência foram construídos 15 cartões como o da *Figura 3.11*, sendo usados cinco deles por grupo, em cada aula. Todos os cartões produzidos encontram-se no *APÊNDICE E*.

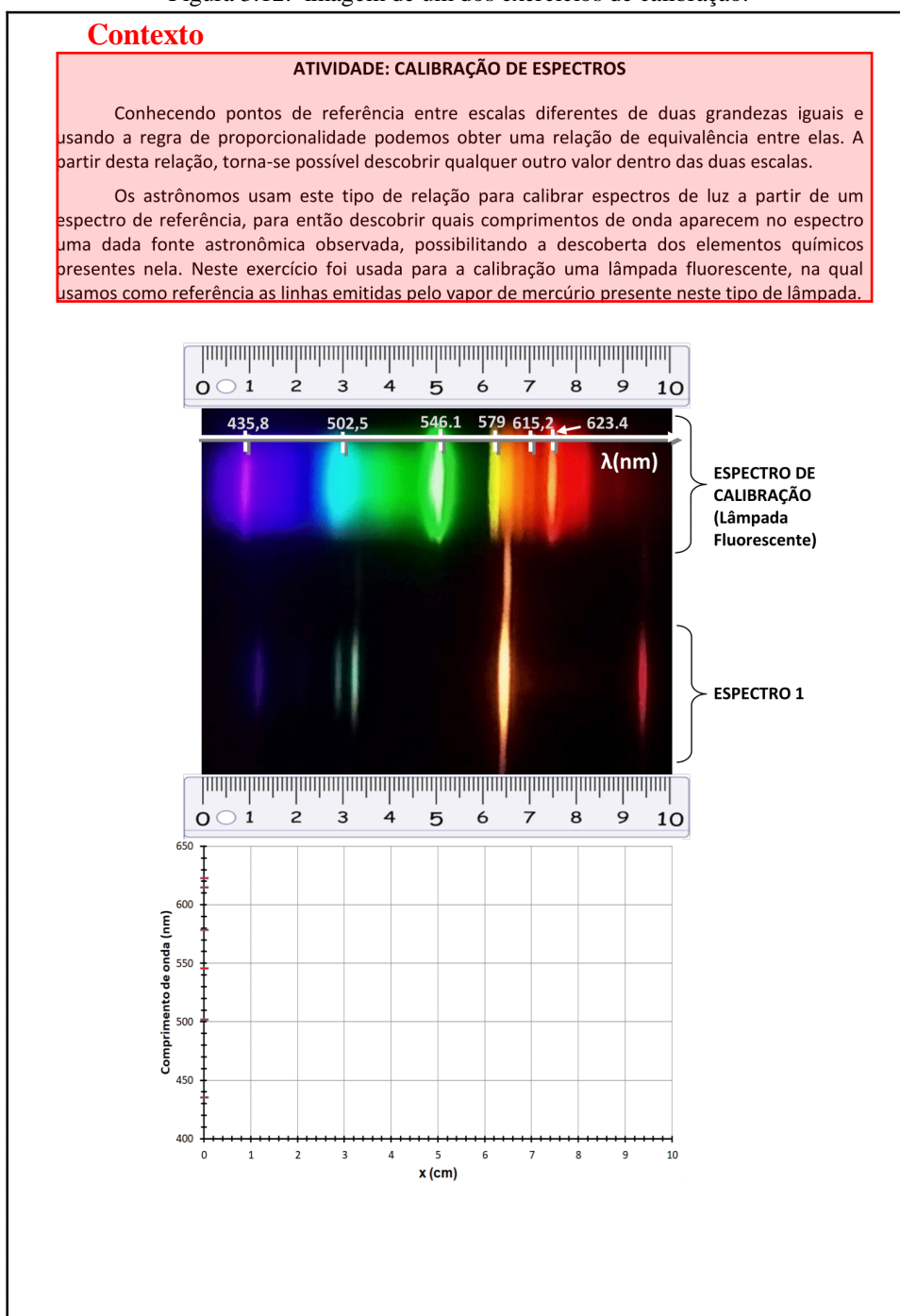
Figura 3.11: Um dos cartões produzidos. Este faz parte da aula 03.



3.5.3. Atividade: Calibração manual de espectros caseiros

Esta atividade é um exercício que possibilita que o aluno ponha a “mão na massa” no processo de calibração dos espectros. Ela é composta de uma lista de passos que orienta como realizar o processo de calibração e quatro páginas com espectros diferentes a serem calibrados. A estrutura do exercício é apresentada na Figura 3.12. Ele apresenta um contexto, seguido da fotografia do espectro, de uma régua contendo uma escala conhecida (cm) e do gráfico para a calibração.

Figura 3.12: imagem de um dos exercícios de calibração.



Os espectros, os passos para a calibração e uma lista de questões sobre o tema, estão presentes no *APÊNDICE H*. Para exemplificar, segue a baixo o processo de calibração proposto no exercício deste apêndice. Com a calibração, o aluno pode perceber que é feito um ajuste linear dos dados, obtendo uma equação da reta. Admitindo esse comportamento linear e usando a relação de proporção entre a posição em centímetros e o equivalente em nanômetros

descrita no tema 05 do *APÊNDICE F*, vamos encontrar a equação de conversão entre as unidades centímetro e nanômetro, que corresponde à equação de calibração:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{x - x_0} = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{x_1 - x_0}, \text{ sendo } \lambda \text{ e } x \text{ as variáveis da equação.}$$

Para fazer uma demonstração rápida aos alunos escolhemos a cor violeta e a verde de espectro 01 da *Figura 3.12* para realizar a calibração. Mas no procedimento de calibração ensinamos o uso de dois pontos qualquer da linha de calibração no gráfico relacionando o comprimento de onda das linhas na lâmpada fluorescente e a posição física das linhas no espectro. Em nosso exemplo utilizando duas linhas:

- Violeta: $\lambda_0 = 435,8 \text{ nm}$; $x_0 = 0,9 \text{ cm}$.
- Verde: $\lambda_1 = 546,1 \text{ nm}$; $x_1 = 5,1 \text{ cm}$.

Logo:

$$\frac{\lambda - 435,8 \text{ nm}}{x - 0,9 \text{ cm}} = \frac{546,1 \text{ nm} - 435,8 \text{ nm}}{5,1 \text{ cm} - 0,9 \text{ cm}}$$

$$\frac{\lambda - 435,8 \text{ nm}}{x - 0,9 \text{ cm}} = 26,26 \frac{\text{nm}}{\text{cm}}$$

$$\lambda = 26,3 \frac{\text{nm}}{\text{cm}} \cdot x \text{ cm} + 412,2 \text{ nm}$$

$$\lambda = 26,3 \frac{\text{nm}}{\text{cm}} \cdot x \text{ cm} + 412,2 \text{ nm}$$

Aplicando os valores das posições em centímetros das linhas brilhantes do espectro que queremos calibrar encontraremos os valores descritos na *Tabela 3.1*. Aqui, destacamos que o espectro do exercício era o do Hélio, mas em classe, o objetivo é que os alunos possam identificar por aproximação (uso da zona de desenvolvimento proximal), quais as linhas e a qual elemento químico corresponde o espectro que eles calibraram. Os valores de referência das linhas espectrais estão presentes no *APÊNDICE I* intitulada “*Gabarito das linhas espectrais*” e devem ser fornecidos aos alunos após o processo de calibração, para que eles possam identificar a qual elemento aquelas linhas pertencem.

Ainda sobre a *Tabela 3.1*, a última coluna, chamada de “*Módulo do Resíduo*”, corresponde ao módulo da diferença entre o valor padrão (observado em laboratório) dos

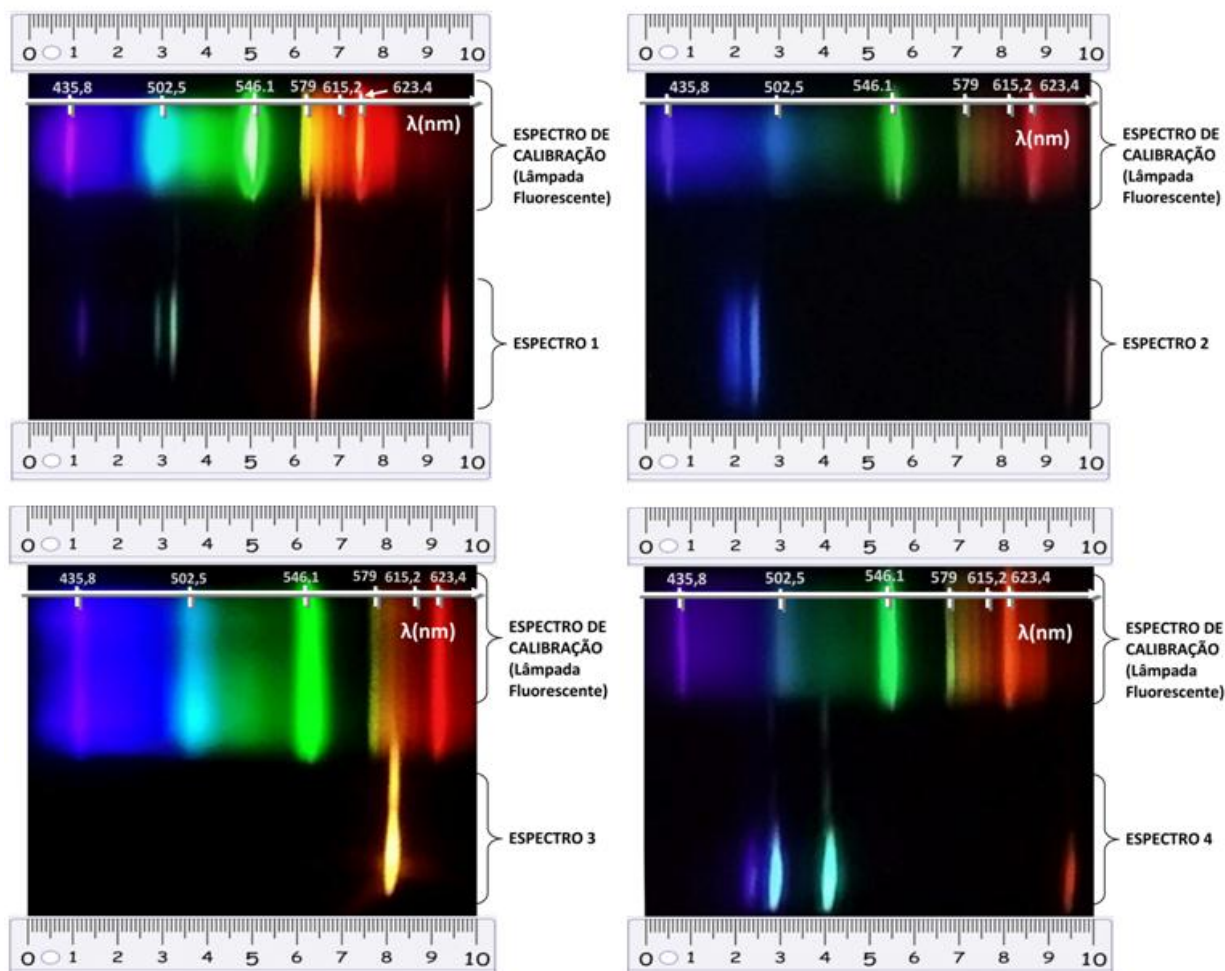
comprimentos de onda das linhas do espectro e os referentes valores obtidos no processo de calibração.

Tabela 3.1: Valores referentes ao processo de calibração do espectro presente na *Figura 3.12*.

Posição das linhas brilhantes do espectro (Hélio)			
Posição da linha	Valor padrão	Observado (em nm)	Módulo do Resíduo
Centímetro (cm)	Nanômetro (nm)	$\lambda = 26,3 \cdot x + 412,2$	[Observado – padrão] (nm)
1,2	447,1	443,76	3,34
2,9	492,1	488,47	3,63
3,3	501,5	498,99	2,51
6,5	587,5	583,15	4,35
9,4	667,8	659,42	8,38
Média do módulo do resíduo:			5,86

O exemplo de calibração feito acima foi apenas um dentre os quatro exercícios presentes no *APÊNDICE H*. A *Figura 3.13* traz todos os espectros da atividade. Os espectros 1, 2, 3 e 4 são dos elementos Hélio, Zinco, Sódio e Cádmio respectivamente.

Figura 3.13: Imagem dos quatro espectros disponíveis para a calibração. Na parte superior de cada fotografia está o espectro de uma lâmpada fluorescente e na parte de baixo está o espectro a ser calibrado.



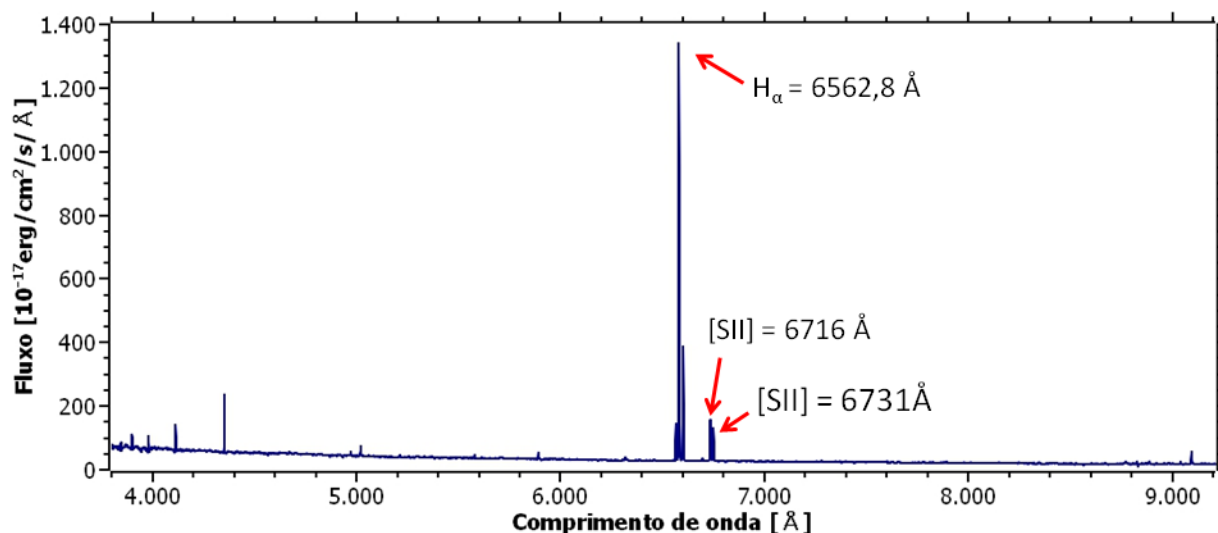
No APÊNDICE H encontra-se o “*Gabarito das linhas espectrais*”, esta tabela possui os valores de referência para as linhas espectrais do exercício descrito nesta seção. Estes valores foram obtidos no site do NIST (2017) e os detalhes para a obtenção estão descritos no APÊNDICE J.

3.5.4. Atividade: Efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo

Desenvolvemos como parte dos produtos que compõem este trabalho uma atividade que trata do efeito Doppler em galáxias. Utilizando imagens de galáxias impressas a partir do projeto *SLOAN DIGITAL SKY SURVEY* (SDSS). Nesta atividade, os alunos podem perceber o deslocamento de linhas espectrais da faixa visível do espectro de galáxias provocado pelo *redshift*.

As galáxias emitem luz, logo com espectrógrafos apropriados, é possível obter espectros de galáxias (*Figura 3.14*). Estes espectros têm emissões de linhas espectrais características, por exemplo, a linha $H_\alpha = 6562,8\text{\AA}$ e as linhas proibidas¹ $[SII] = 6716\text{\AA}$ e $[SII] = 6731\text{\AA}$.

Figura 3.14: Espectro da galáxia NGC 3627, em todos os comprimentos de onda observados espectroscopicamente para esta galáxia com o SDSS.

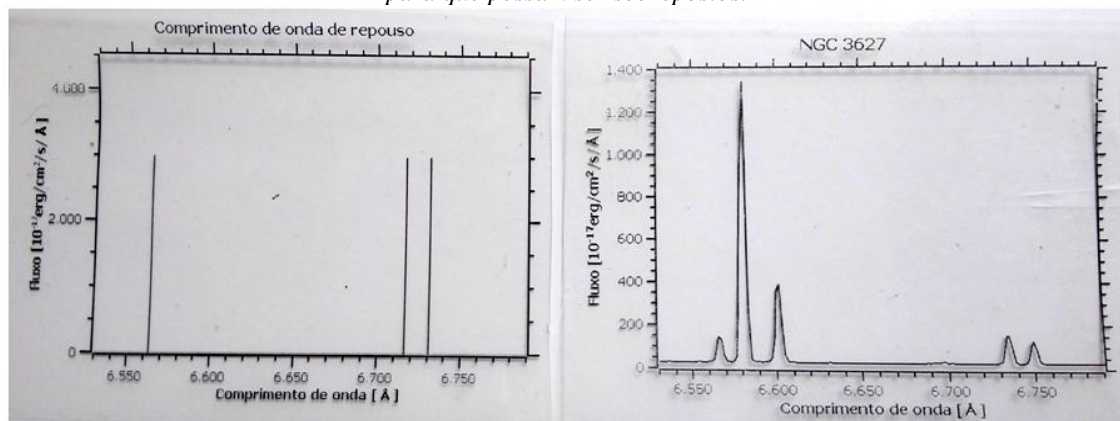


Os espectros usados para esta atividade foram os observados para as galáxias NGC 3021, NGC 3627, NGC 3365, NGC 5248 e NGC 3319. Eles foram obtidos no banco de dados disponível no site do (SDSS, 2018). Para a nossa atividade, nós utilizamos apenas uma parte dos espectros, cujo recorte vai de 6530\AA até 6790\AA (653 nm até 679 nm). Um gráfico com o mesmo intervalo de comprimento de onda foi feito com linhas verticais demarcando os valores referentes ao comprimento de onda de repouso do H_α e das duas emissões do enxofre uma vez ionizado ($[SII]$). Os valores do enxofre foram adicionados com o objetivo mostrar que todas as linhas se deslocam quando há um *redshift*.

Desenvolvemos uma tabela com os gráficos (*APÊNDICE M*), que foi impressa em uma folha de transparência (*Figura 3.15*), para que fosse possível enxergar os espectros sobrepostos (*Figura 3.16*) e assim obter o valor do deslocamento da linha espectral ($\Delta\lambda$).

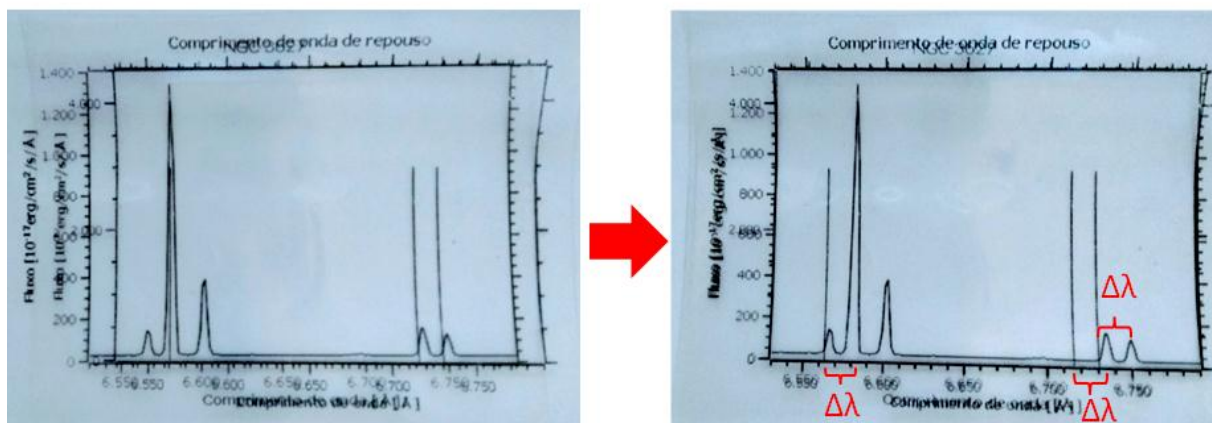
¹As emissões de linhas proibidas apenas são observadas em gases de densidade muito baixa, como por exemplo, no meio interestelar das galáxias. As linhas espectrais surgem quando um átomo passa para um estado menos excitado. Um átomo geralmente permanece em um estado mais alto por 10^{-8} s. As vezes ocorrem transições com tempo de vida muito maior, da ordem de 1s. Quando esta transição mais duradoura não é interrompida por uma colisão entre átomos, fato que só ocorre em baixíssimas densidades, ela produz as chamadas linhas proibidas.

Figura 3.15: Gráfico demarcando os comprimento de ondas de repouso das linhas espectrais de $H\alpha$ e $[SII]$ (esquerda) e recorte do espectro da galáxia NGC 3627 (direita). Ambos estão impressos em transparências para que possam ser sobrepostos.



É possível perceber quando um espectro apresenta efeito Doppler por conta da diferença de posição de linhas espectrais bem conhecidas neste espectro. Com o efeito Doppler a posição das linhas observadas em repouso em relação à Terra estará deslocada. Na verdade todo o espectro se desloca e adquire comprimentos de onda diferentes dependendo se a fonte se aproxima ou se afasta de observador. Para galáxias Edwing Hubble identificou que sistematicamente (ou seja, excluindo-se exceções) as galáxias apresentam deslocamentos das linhas para comprimentos de onda maiores. Considerando que os limites de comprimentos de onda máximo e mínimo do espectro visível são o vermelho e o azul respectivamente, em analogia com a visão humana, quando há aumento nos comprimentos de onda se diz que houve um deslocamento para o “vermelho”. Daí o nome que se dá a este fenômeno *redshift* “deslocamento para o vermelho” em inglês. Do mesmo modo, quando há uma diminuição no comprimento de onda se diz que houve um *blueshift* “deslocamento para o azul”.

Figura 3.16: Sobreposição das transparências da Figura 3.15. À esquerda as linhas do espectro com comprimentos de onda de repouso estão ajustadas com os picos de emissão dos seus respectivos elementos, porém vemos que os eixos horizontais não estão alinhados. À direita, os gráficos estão com os eixos alinhados. É possível ver que todas as linhas espectrais da galáxia em questão apresentam um deslocamento $\Delta\lambda$ (destacado em vermelho) para o lado direito do espectro.



O espectro da Figura 3.15 à direita é um pequeno recorte do espectro da Figura 3.14, então como as linhas de emissão presentes na Figura 3.15 são próximas entre si, o fato de que o deslocamento de comprimento de onda que é maior para comprimentos de onda maiores é amenizado, produzindo aproximadamente o mesmo $\Delta\lambda$ para todos da região do recorte. Isso possibilitou a construção desta atividade.

O material necessário para a aplicação desta atividade é composto pelos gráficos com os recortes das galáxias (APÊNDICE M), o questionário (APÊNDICE K) e o gabarito das questões (0). No questionário estão presentes as orientações sobre como realizar a atividade.

3.5.5. Pré-teste e questionários avaliativos

Neste trabalho desenvolvemos um pré-teste contendo 12 questões que em sua maioria pertencem ao ENEM (anos 2011, 2014 e 2017), mas também a vestibulares aplicados no Brasil. O pré-teste tem como objetivo verificar quais os conhecimentos prévios que os alunos traziam consigo sobre os temas abordados. O pós-teste é formado pelas mesmas questões do pré-teste, mas foi dividido em três partes, e cada parte foi aplicado ao final da aula correspondente. Assim, geramos também três questionários.

A aplicação do pré-teste e do pós-teste visa descobrir o impacto que o produto educacional teve nos alunos, fornecendo um feedback sobre o aproveitamento dos conteúdos estudados.

Através de nossa experiência profissional e de uma cuidadosa escolha, nós selecionamos de vestibulares e do ENEM, as questões para o pré-teste (que são iguais as do

pós-teste) observando a afinidade de cada questão com os temas abordados na sequência didática. Além da validação das questões feita pelas instituições que elaboram estas provas de seleção (ENEM e vestibulares da FUVEST, UFAL, UFPI, Unesp e PUCCAMP-SP), utilizamos nosso próprio conhecimento e sensibilidade a cerca do conteúdo produzido para a sequência, o que nos permite validar o pré-teste. Logo a validação foi feita por nós e não foi submetido a outros professores antes da aplicação.

4. DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DO PRODUTO

Neste capítulo apresentaremos uma descrição da aplicação da nossa sequência didática, que foi realizada com duas turmas, uma de segundo ano e outra de terceiro ano do Ensino Médio, com estudantes de 16 a 19 anos de idade. A aplicação do produto educacional teve início no dia 21 de novembro de 2017 e foi finalizada no dia 30 do mesmo mês. Ela foi realizada em horário normal de aula.

Como foi explicado na *seção 3.2*, o produto foi aplicado em uma turma do segundo ano e uma turma do terceiro ano do Ensino Médio. Próximo às datas da aplicação do produto, havia a possibilidade de aplicá-lo em duas turmas do segundo ano (2ºB e 2ºC) e em duas turmas do terceiro ano (3ºA e 3ºC). Levando em consideração a nossa experiência em lecionar nas turmas citadas e buscando otimizar a aplicação do produto, nós escolhemos o 2ºC por possuir mais alunos frequentando as aulas do que no 2ºB e por saber que nesta turma havia dois alunos que gostavam de Astronomia, possibilitando a esses alunos um contato a mais com este tema. A escolha do 3ºA foi feita por ser uma turma com menor evasão em relação ao 3ºC e que demonstrou, em situações anteriores, melhor receptividade a atividades diferenciadas, como o uso do método “Jigsaw”.

Devemos lembrar que o período da aplicação deste produto antecedeu a uma gincana na escola. Isso gerou certa distração dos alunos em relação às aulas.

4.1. Aula pré-sequência didática

Antes da primeira aula foi aplicado um pré-teste. Os alunos foram informados de que não era necessário se identificar, já que aquele teste fazia parte da análise do produto que seria aplicado e não uma forma de avaliá-los. Trinta minutos foram destinados à acomodação dos alunos e a aplicação do pré-teste. Os outros vinte minutos da aula foram utilizados para explicar aos alunos a técnica de ensino que seria usada nas aulas seguintes: o Jigsaw. A apresentação de slides “*Apresentação Jigsaw*”, criada por nós, está disponível em PEREIRA (2018)², ela auxilia a explicação sobre como funciona a modalidade de aprendizagem cooperativa Jigsaw. Acreditamos que esta explicação prévia de como funcionariam as aulas seguintes favoreceria o bom andamento destas, já que os alunos não estavam acostumados com aulas baseadas em métodos de aprendizagem cooperativa.

²<http://bit.ly/pereira2018>.

4.2. Primeira aula: aplicação e observações

A aula teve como objetivo geral apresentar uma série de tópicos sobre as características ondulatórias da luz, enfatizando a composição de cores e como interagimos com ela para enxergarmos o mundo. Os objetivos específicos são:

- Apresentar as características físicas da luz e algumas das formas de interação desta com a matéria.
- Demonstrar a dependência da cor em relação à luz incidente;
- Apresentar o espectro eletromagnético, com destaque à região visível;
- Discutir sobre como o ser humano é capaz de distinguir cores;
- Compreender tópicos de física ondulatória enfatizando características de uma onda.

Logo no início da aula nós exibimos aos alunos uma apresentação gráfica “*Que cor você vê?*” disponível em PEREIRA (2018). Ele serve de elemento motivador que visa gerar curiosidade e interesse pelo tema. Os alunos observaram a apresentação e opinaram sobre quais cores eles enxergavam nas situações propostas pelas figuras.

Em seguida foram formados os “grupos base” conforme explicado no *APÊNDICE P* na aula 01 e nós tomamos nota dos nomes dos componentes de cada grupo e explicamos a cada um a função que ele iria exercer no grupo. O *APÊNDICE N* traz uma tabela que visa facilitar a coordenação dos grupos, por parte do professor, com campos de preenchimento do nome de cada aluno e sua função no grupo. No momento da organização da turma houve uma tendência dos alunos a formar os grupos “base” entre colegas que tinham mais intimidade, entretanto, no momento em que eles foram para a segunda fase da aula, onde os alunos se redistribuíram nos “grupos de especialistas” notou-se que alguns alunos que não tinham boa relação entre si estavam em um mesmo grupo de especialistas, fato que gerou um perceptível desconforto entre eles.

Os alunos das duas turmas em que o produto foi aplicado relataram não estar acostumados a estudar em grupos cooperativos. Houve certo silêncio no início da fase dos “grupos de especialistas” (etapa destinada ao diálogo para esclarecimento de dúvidas), mas cerca de 5 minutos depois, os alunos começaram a discutir sobre os seus temas.

No 3º A, a sequência didática foi aplicada com 12 alunos. Os cartões para a aula, em nosso planejamento de aplicação da técnica Jigsaw, têm cinco temas, então a solução para que todos os cartões fossem estudados pelos alunos foi formar três grupos base, cada um com

quatro alunos e dentro de cada grupo um aluno ficou com dois cartões: o cartão com o tema 01 e o com o tema 04. A escolha dos dois cartões foi feita por nós, visto que estes cartões são os que apresentam menor quantidade de conteúdos em relação aos outros. Como as funções dos alunos neste método são definidas, ou seja, no grupo cada aluno tem uma função (vide seção 2.2), no caso de grupos com menos de cinco alunos, fato que ocorreu nesta aula, a função de relator foi absorvida pelo facilitador.

No 2º C, a sequência didática foi aplicada com 16 alunos. Foram formados três grupos, dois com cinco alunos cada e um terceiro grupo com seis alunos. Logo, tivemos dois grupos com o número exato de componentes previsto para cada grupo e no terceiro grupo dois alunos ficaram com cartões repetidos: ou seja, neste grupo duas pessoas ficaram responsáveis pelo tema 05 intitulado “*A luz é uma onda?*”. Este tema foi escolhido por o considerarmos mais complexo para os alunos e assim promoveríamos que mais alunos fossem envolvidos em sua discussão. No grupo com seis alunos fizemos com que dois alunos fossem porta-voz, para incentivar a nossa interação com eles. Prevendo que as turmas podem não ter um número de alunos de acordo com o previsto no desenvolvimento dos cartões com os temas (cada aula tem cinco cartões, logo idealmente o total de alunos deveria ser um múltiplo de cinco) e visando facilitar para o professor a distribuição de atividades aos alunos excedentes, organizamos os assuntos que consideramos mais difíceis em nossa sequência didática como o tema 05 de cada aula, de modo que ela possa ser atribuída a grupos que serão maiores. Para quem deseja aplicar esta sequência didática, recomendamos que tire cópias extras do tema 05 de cada aula.

Ao longo da aula, tanto no 2º C quanto no 3º A, percebeu-se que a única função que estava sendo cumprida no grupo era a de facilitador, que tinha como principal foco controlar o tempo (a duração da fala dos colegas) e inibir as conversas paralelas no grupo. Acreditamos que isso ocorreu porque não houve o reforço necessário de nossa parte para destacar o quão importante são as funções de cada aluno no grupo, e que a aprendizagem dependia em grande parte do engajamento de cada aluno em cumprir sua função. Como a palavra “facilitador” já possuía significado para o aluno e foi entendida por eles como líder, intuitivamente esta função foi de fácil assimilação.

No 3º A, no retorno ao grupo base, momento em que os alunos deveriam explicar seus temas aos seus colegas, as apresentações fluíram bem (*Figura 4.1*) e a turma aparentou aceitar bem a dinâmica, sendo que ninguém demonstrou apatia. Entretanto, eles demonstraram dificuldade em explicar seus temas nos tempos previstos, mas contivemos esta dificuldade intervindo nos grupos ao alertá-los sobre os limites do tempo. Como a cada atividade estava previsto um intervalo máximo e mínimo de tempo prevendo esta contingência, conseguimos

manter as a atividade como um todo dentro do cronograma planejado nas etapas da sequência didática, disponível no *APÊNDICE P*.

No 2º C, nos grupos de especialistas, foi necessária uma intervenção mais expressiva de nossa parte com relação ao tema 05 (*A luz é uma onda?*). No grupo base, as apresentações, fluíram bem (*Figura 4.2*), mas os alunos demonstraram ter dificuldade de se expressar verbalmente, provavelmente por vergonha.

A aula ocorreu no tempo previsto, mas eles também demonstraram dificuldade em explicar seus temas neste tempo e se sentiram surpresos quando lhes foi entregue o questionário nos 15 minutos finais da aula.

Figura 4.1: Alunos do 3º A explicando seus temas aos colegas do grupo base. É possível observar que cada grupo base possui 4 componentes.



Figura 4.2: Alunos do 2º C explicando seus temas aos colegas do grupo base. O grupo mais à frente possui 6 componentes e os outros dois grupos ao fundo contém 5 alunos cada.



4.3. Segunda aula: aplicação e observações

O objetivo geral desta aula foi apresentar o uso da composição de cores para formar imagens em telas de aparelhos eletrônicos, o uso de escalas de cores, e como calibrar espectros em comprimento de onda. Os objetivos específicos foram:

- Apresentar a composição de imagens no sistema RGB de cores e como este artifício é usado pela ciência em imagens de falsa cor;
- Apresentar um guia prático para a construção de um espectroscópio;
- Discutir como é possível usar diferentes escalas para medir uma mesma grandeza;
- Apresentar o significado científico da equação da reta.

No início da aula, para cada turma nós exibimos aos alunos a apresentação de slides “*Espectros e escalas de cor*” (PEREIRA, 2018). Esta apresentação serve de elemento motivador que visa gerar curiosidade e interesse pelo tema. Os alunos demonstraram visível interesse pelas imagens de fontes astronômicas em diferentes faixas de emissão do espectro (visível, raios-X). Depois foram formados os “grupos base” conforme explicado no APÊNDICE P “*Etapas da sequência didática*” na aula 02, e nós novamente tomamos nota dos nomes dos componentes de cada grupo e tentamos explicar melhor a função de cada um no

grupo. Foi reforçado verbalmente quais eram as atribuições de cada função a ser executada no grupo. No 3ºA havia 12 alunos e no 2ºC estavam presentes 16 alunos. Nas duas turmas observou-se que no momento da formação dos grupos a tendência dos alunos a formar os grupos “base” entre colegas que tinham mais intimidade permaneceu, mas no momento em que eles foram para a segunda fase da aula, eles já pareciam mais adaptados às reformulações de grupos no momento dos grupos de “especialistas”. Como o número de alunos permaneceu igual à aula anterior, a divisão dos temas também foi a mesma. No 3ºA em cada grupo um aluno ficou com os cartões do tema 01 e do tema 03.

Com relação aos conteúdos, o grupo de especialistas do tema 04 (*“Imagens de falsa cor: um belo artifício da ciência”*) no 2ºC, apresentou dificuldade de compreensão do assunto, havendo necessidade de nossa intervenção. Nós explicamos detalhadamente o assunto e os alunos relataram compreender o que foi explicado. Tanto no 2ºC quanto no 3ºA, os alunos apresentaram mais dúvidas com relação ao tema 05 (referente à calibração), havendo necessidade de uma atenção especial de nossa parte no grupo de especialistas. Este assunto foi abordado na atividade de calibração manual de espectros caseiros (*APÊNDICE H*), que foi encaminhada como exercício para casa.

Nas duas turmas o exercício de calibração de espectros (*APÊNDICE H*) não foi entregue na aula seguinte (aula 03) como combinando. Os alunos relatam que apesar de ter compreendido nossa explicação mais detalhada (durante a intervenção citada), eles não conseguiriam reproduzir a calibração em casa. Acreditamos que isso tenha ocorrido porque os alunos necessitavam de exercícios mais gradativos, para que assimilassem melhor e assim poder reproduzir o que aprenderam. Na *seção 4.5.2* está descrita uma sugestão de como contornar esse problema. Em resumo é sugerida uma aula exclusivamente para a aplicação dessa atividade.

Ainda na segunda aula (em cada uma das duas turmas), cada um dos alunos do grupo de especialistas que ficou responsável pelo tema 02, “Construindo o espectroscópio”, construiu de fato o seu espectroscópio em classe e no tempo previsto. Eles demonstraram satisfação ao realizar a tarefa. No retorno ao grupo base estes alunos convidaram os colegas a identificar diferenças entre as fontes luminosas disponíveis (vela, lâmpadas fluorescente e incandescente), *Figura 4.3*. Nesse momento foi possível observar a reação de surpresa de alguns alunos, onde ouvimos expressões como “massa”, “que legal” e “ahhhhhh...”.

Nas duas turmas ao longo de toda a aula, algumas mediações foram feitas por nós dentro do previsto e as apresentações fluíram bem (*Figura 4.4*), sendo que em geral a turma

aparentou ter boa aceitação, com alguns focos de apatia e de conversas paralelas, mas as atividades ocorreram no tempo previsto.

Quatro alunos do 2ºC demonstraram menos aceitação à etapa do “grupo de especialistas” recusando-se a participar ativamente, como se esperassem que lhes fosse ensinado o assunto, ao invés de ler com atenção o seu cartão. Nós questionamos a estes alunos porque não participaram mais ativamente, e eles responderam que preferiam aulas “normais” e que “*não estavam gostando da aula*”. Entendemos que eles se referiam ao tipo de aula expositiva e que o método Jigsaw gerou neles o desconforto inicial já esperado, pois aquele tira os alunos da passividade com a qual estavam acostumados. Na seção 0 “*A atividade de calibração foi prevista inicialmente para classe, mas percebendo que não haveria tempo, nós a colocamos como atividade para casa. Como foi dito durante a descrição da aula 02 (seção 0), acreditamos que os alunos não tenham realizado a atividade de calibração sozinhos, por não terem aprendido o assunto o suficiente para executá-la em casa. No entanto, também dentro de nossa experiência profissional não foi incomum verificar este hábito dos alunos em relação às atividades deixadas para casa. Para evitar este problema sugerimos que esta atividade seja feita em uma aula a mais (estendendo a sequência didática) com método expositivo, porém com a turma dividida em grupos. Em um primeiro momento o assunto deverá ser exposto no quadro pelo professor e em um momento seguinte os alunos realizarão a calibração, enquanto o professor fará o papel de tutor. Na verdade, no APÊNDICE P (etapas da sequência didática) nós já inserimos este ajuste oferecendo opções de flexibilização da sequência, tornando-a mais extensa caso o professor julgue adequado.*

No que diz respeito ao pré-teste, acreditamos que o tempo destinado para que os alunos o respondessem (30 minutos) foi muito curto, visto que ele possui 12 questões e desse modo o tempo máximo para a resolução de cada questão é de apenas 2,5 minutos. Assim, sugerimos que uma aula inteira seja destinada à resolução do pré-teste (50 minutos, sendo aproximadamente quatro minutos por questão). Nós fizemos esta correção no APÊNDICE P “*Etapas da Sequência Didática*”. Pretendemos com isso dar tempo suficiente ao aluno, para que ele não dê uma resposta errada apenas porque se sentiu pressionado pelo pouco tempo.

Na terceira aula no 2ºC, os alunos demonstraram desinteresse. Havia um importante fator externo que foi a proximidade com uma gincana escolar, mas talvez haja também um fator interno, pois é possível que a sequência tenha sido muito densa para a turma. Desse modo ela não estaria na zona de desenvolvimento proximal de alguns alunos, o que interfere

na aprendizagem. Sugerimos que o professor esteja mais atento a estes eventos externos a sua aula e que se eles existirem, que se dê atenção redobrada aos alunos que aparentarem desmotivação.

Sugerimos ainda que a atividade sobre o Efeito Doppler em galáxias e a de determinação da idade do Universo, que não foi aplicada também por não haver tempo hábil, seja realizada em uma aula a mais (novamente estendendo a sequência didática), mesclando aula expositiva com atividades em grupos. Contudo, fica a critério do professor usar uma ou duas aulas para a realização destas duas atividades, visto que ele é quem terá a possibilidade de avaliar o grau de desenvolvimento da turma. Segundo *“quando o professor utiliza técnicas expositivas combinadas a outros tipos de práticas pedagógicas, poderá favorecer melhor aproveitamento na aquisição dos conceitos, durante o processo de ensino em sala de aula”* (AUSUBEL, 1980) apud .

Por fim, nós propomos que ao final da sequência didática e da aplicação das atividades, seja ministrada também uma aula de revisão expositiva com o objetivo de consolidar os principais conceitos, fechando, portanto, o ciclo de aprendizagem deste tema no nível proposto.

O método Jigsaw e a participação dos alunos” há uma discussão mais detalhada sobre o tema.

Figura 4.3: Alunos do 3ºA observando diferentes fontes luminosas com seus espectroscópios.



Figura 4.4: Alunos no grupo base, durante a segunda aula (3ºA).



Um fato importante desta aula no 2ºC foi observar que duas alunas com problemas pessoais entre si ficaram em um mesmo grupo de especialistas, e foi notória a reação de desconforto delas por isso. Percebemos que após um tempo elas passaram a participar das discussões do grupo e a trabalhar em equipe. Este fato ilustra a conveniência do método Jigsaw.

4.4. Terceira aula: aplicação e observações

Esta última aula teve o objetivo geral de apresentar propriedades fundamentais sobre a natureza da luz e da cor dos objetos e suas bases matemáticas. Ela visou apresentar também as bases da argumentação para a teoria da expansão do universo. Os objetivos específicos foram:

- Apresentar a relação entre espectros bidimensionais e sua representação unidimensional.
- Discutir sobre tipos de espectros e o que eles dizem sobre o meio pelo qual a luz passou;
- Apresentar o espectro eletromagnético, com destaque a outras regiões além da visível;
- Introduzir os conceitos relativos ao efeito Doppler;
- Apresentar o efeito Doppler em galáxias e porque ele indica que o Universo está em expansão.

No início da aula nós exibimos aos alunos a apresentação de slides “*Aglomerados de galáxias*” (PEREIRA, 2018). Essa apresentação traz imagens de aglomerados de galáxias nas

faixas de emissão do espectro visível e raios-X. Estas imagens são apresentadas com a intenção de servirem como elemento motivador. No 2°C, ao ver estas imagens uma aluna perguntou se elas eram de fato reais, tamanha foi a surpresa dessa aluna em relação às dimensões destas estruturas. Os alunos em geral demonstraram interesse pelo tema. Depois foram formados os “grupos base” conforme explicado no *APÊNDICE P*, aula 03, e nós novamente tomamos nota dos nomes dos componentes de cada grupo.

No 2°C, a quantidade de alunos se manteve igual às aulas anteriores: 16 alunos. A forma de divisão dos temas também foi igual a das aulas anteriores. Já no 3°A foram 15 alunos (três a mais que as aulas anteriores), logo, cada grupo base ficou com cinco alunos (como previsto). Foi possível notar que os alunos já não estavam tão preocupados com quais seriam os seus colegas de grupo, ou seja, os grupos não foram necessariamente formados por critérios de amizade. No 3°A os alunos tentaram se encaixar melhor nas suas funções no grupo. Isso foi verificado na prática, pois o redator e o porta-voz de dois grupos foram mais ativos. Já no 2°C, apenas o porta-voz de um grupo cumpriu sua função. Já a função de facilitador continuou a ser cumprida nas duas turmas.

No 2°C os alunos apresentaram muitas dúvidas com relação a todos os temas. Nós tivemos que intervir em todos os grupos de especialistas. Nessa aula os alunos aparentavam bastante desmotivação e desinteresse, mesmo após se interessarem no momento das discussões iniciais (onde foram apresentadas fotografias de aglomerados de galáxias). Acreditamos que a desmotivação tenha ocorrido por conta da proximidade das aulas com o período da gincana. Os alunos relataram estar cansados por conta da gincana. Também é possível que a sequência tenha sido muito densa em relação aos assuntos abordados. Dessa maneira o conteúdo da terceira aula talvez não estivesse na zona de desenvolvimento proximal do aluno e então, não houve o interesse e a motivação necessários ao aprendizado.

. Devido às muitas intervenções realizadas, a aula teve um atraso de 20 minutos. Nós contamos com a compreensão do professor da aula seguinte, que nos cedeu esse tempo. As apresentações fluíram de maneira razoável (*Figura 4.5*), mas a turma aparentou estar desanimada. A aplicação da atividade referente ao efeito Doppler de Galáxias (*APÊNDICE K*) estava prevista para esta aula após o término das apresentações dos assuntos nos grupos base, porém por conta das intervenções nos grupos a aula se estendeu sem que houvesse tempo para a aplicação dessa atividade. Houve focos de conversas paralelas durante toda a aula.

Figura 4.5: Alunos do 2°C em um grupo base.



No 3ºA, os alunos apresentaram mais dúvidas com relação ao tema 02 “*A equação da reta e seu significado prático*” e o tema 04 “*Efeito Doppler*”, havendo necessidade explicações mais detalhadas. Algumas pequenas observações sobre os assuntos para sanar dúvidas foram feitas em todos os grupos de especialistas. Em um dos grupos base uma aluna e um aluno demonstraram gosto pela temática abordada, e foi possível ouvir expressões como, “*que legal*” e “*ahhhhh...*”. Devido às intervenções a aula se estendeu 10 minutos além do previsto e não foi possível aplicar a atividade referente ao efeito Doppler de Galáxias. As apresentações fluíram de maneira razoável (*Figura 4.6*), mas a turma como um todo aparentou ter dificuldades nas etapas do método no que se refere a participar ativamente das discussões e houve focos de conversas paralelas.

Figura 4.6: Alunos do 3ºA: em um grupo de especialistas (cima à esquerda); em grupos bases (a cima à direita e abaixo).



Apesar do desinteresse demonstrado por muitos alunos das duas turmas, houve relatos de alunos que gostaram do método “Jigsaw” enfatizando que as aulas foram “diferenciadas”.

4.5. Análise dos resultados

4.5.1. Pré-teste versus Pós-teste

Embora não exigido pela coordenação nacional de nosso mestrado, a utilização de um pré e um pós-teste foi uma opção com propósito de termos um feedback em relação à nossa prática, avaliando os prós e contras da sequência didática e dos materiais aqui desenvolvidos.

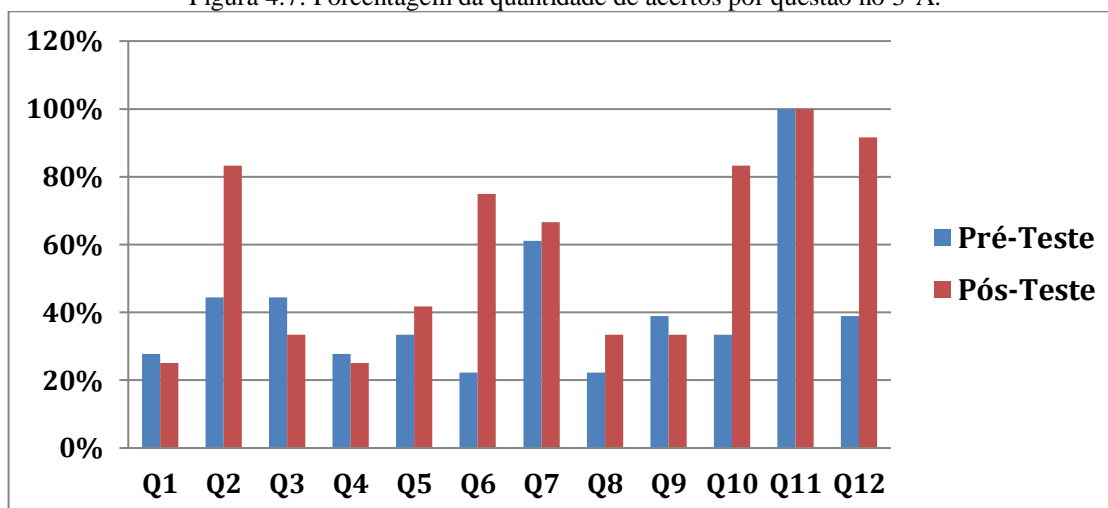
O método de ensino Jigsaw, usado por nós neste trabalho prevê que ao final de cada aula seja aplicada algum tipo de avaliação individual, para verificar quantitativamente o progresso de cada aluno e para que os alunos compreendam que a prática desenvolvida na aula deve ser levada a sério. Então o que fizemos foi dividir as questões do pré-teste em três questionários. As questões de cada questionário foram escolhidas de acordo com os conteúdos ministrados em cada aula. Estes três questionários formam juntos o nosso pós-teste. Os resultados gráficos do pré-teste e do pós-teste de cada turma estão apresentados nas *Figura 4.7* e *Figura 4.10*.

As questões do Pré-teste foram avaliadas por nós de acordo com a taxonomia de Bloom Revisada (FERRAZ e BELHOT, 2010), em que os processos cognitivos envolvidos na resolução das questões se tornam mais complexos de acordo com a seguinte escala: **lembrar, entender, aplicar, analisar, avaliar e criar**. A classificação das questões esta na *Tabela 4.1*. Portanto cada questão só será resolvida corretamente se o aluno possuir um nível de cognição em relação ao conteúdo de acordo com a classificação desta questão.

Tabela 4.1: Classificação (feita por nós) das questões do pré-teste de acordo com a taxonomia de Bloom.

Questão	Dimensão do processo cognitivo	Questão	Dimensão processo cognitivo
Q1	Entender	Q7	Aplicar
Q2	Lembrar	Q8	Entender
Q3	Analisar	Q9	Avaliar
Q4	Analisar	Q10	Analisar
Q5	Analisar	Q11	Avaliar
Q6	Entender	Q12	Entender

Figura 4.7: Porcentagem da quantidade de acertos por questão no 3ºA.



Analisando os resultados do 3ºA presentes na *Figura 4.7*, percebemos que em sete questões (Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q10 e Q12) houve progresso no número de acertos. A questão Q11 teve 100% de acerto tanto no pré quanto no pós-teste o que indica um conhecimento prévio a respeito do tema.

O número de acertos foi menor no pós-teste do que no pré-teste em quatro questões (Q1, Q3, Q4 e Q9). Dentre estas, as questões Q3 e Q4 envolvem a dimensão cognitiva

“Analisar” enquanto a Q9 envolve a dimensão “Avaliar”. São níveis mais profundos de compreensão de um assunto e por isso mais passíveis de erros. Estas quatro questões tiveram uma diferença entre a quantidade de acertos no pós-teste ligeiramente menor do que no pré-teste, números que pode estar dentro variações estatísticas esperadas pra estes tipos de análises. As questões Q5, Q7 e Q8 apesar de apresentarem um pouco mais de acertos no pós de que no pré-teste, mas também podem não ser entendidas como melhoria. Nestas questões, o desenvolvimento permaneceu, na prática, o mesmo.

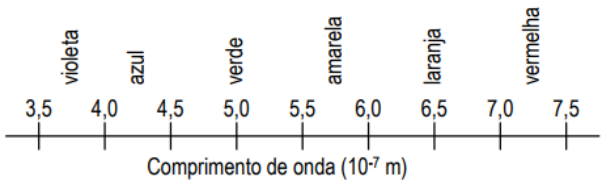
Após a aplicação da sequência didática no 3ºA, a questão com maior número de acertos foi a Q6 e a Q12 (que abordam temas clássicos da óptica no Ensino Médio), onde houve uma diferença de 53% entre o número de acertos no pré e no pós-teste. Excluindo o caso da questão Q11 em que houve 100% de acerto no pré-teste, a questão Q12 foi a que os alunos mais acertaram no pós-teste como um todo, chegando a 92% de acerto. Apresentamos na *Figura 4.8* um extrato destas duas questões. A quantidade de acertos indica que estes assuntos foram relativamente bem assimilados pelos alunos, sinalizando que houve aprendizagem significativa sobre os tipos de células que permitem ao olho humano enxergar cores e sobre a particularidade de espectral de cada elemento químico.

Figura 4.8: Questão 06 e questão 12. As duas com maior taxa de acerto no pós-teste.

<p>6) (Enem 2017) A retina é um tecido sensível à luz, localizado na parte posterior do olho, onde ocorre a formação de imagem. Nesse tecido, encontram-se vários tipos celulares específicos. Um desses tipos celulares são os cones, os quais convertem os diferentes comprimentos de onda da luz visível em sinais elétricos, que são transmitidos pelo nervo óptico até o cérebro.</p> <p>Disponível em: www.portaldaretina.com.br. Acesso em: 13 jun. 2012 (adaptado).</p> <p>Em relação à visão, a degeneração desse tipo celular irá</p> <ol style="list-style-type: none"> comprometer a capacidade de visão em cores. impedir a projeção dos raios luminosos na retina. provocar a formação de imagens invertidas na retina. causar dificuldade de visualização de objetos próximos. acarretar a perda da capacidade de alterar o diâmetro da pupila. 	<p>12) (ENEM 2017) (adaptada) Um fato corriqueiro ao se cozinhar arroz é o derramamento de parte da água de cozimento sobre a chama azul do fogo, mudando-a para uma chama amarela. Essa mudança de cor pode suscitar interpretações diversas, relacionadas às substâncias presentes na água de cozimento. Além do sal de cozinha (NaCl), nela se encontram carboidratos, proteínas e sais minerais.</p> <p>Cientificamente, sabe-se que essa mudança de cor da chama ocorre pela</p> <ol style="list-style-type: none"> reação do gás de cozinha, volatilizando gás cloro. emissão de luz pelo sódio, produzida por conta da queima do sal. produção de derivado amarelo, pela reação com o carboidrato. reação do gás de cozinha com a água, formando gás hidrogênio. excitação das moléculas de proteína, com formação de luz amarela.
--	--

A manutenção dos erros em certos casos fornece indícios sobre os impactos de nossa prática, permitindo a percepção de conceitos que não foram compreendidos pelos alunos e sugere os motivos que produziram esses resultados. No 3ºA as questões com menos acertos no pré (28% de acerto) e no pós-teste (25% de acerto) foram a Q1 e a Q4. Na *Figura 4.9* estão as questões com menores índices de acerto nesta turma.

Figura 4.9: Questões Q1 e Q4 foram as com menor índices de acerto no 3ºA.

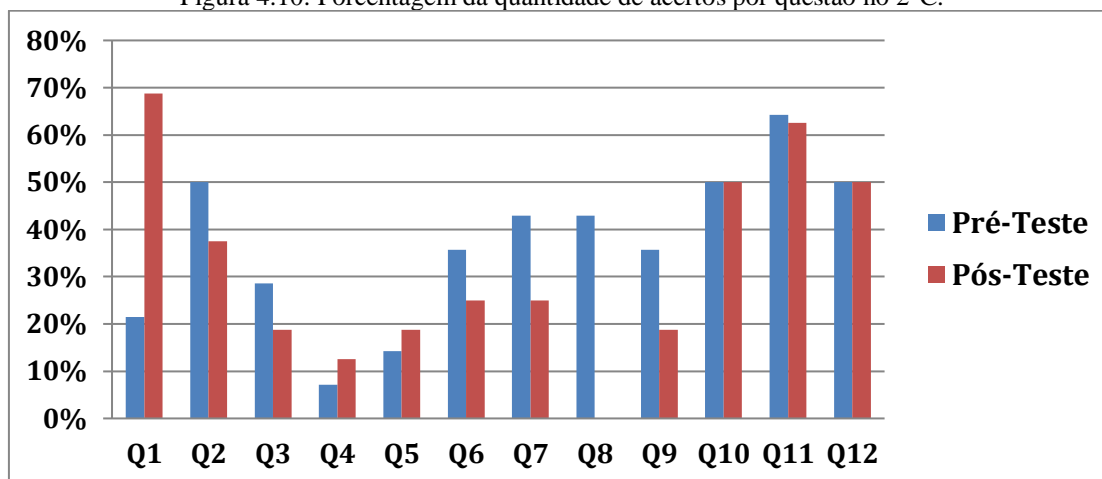
<p>1) (FUVEST) Radiações como raios X, luz verde, luz ultravioleta, microondas ou ondas de rádio, são caracterizadas por seu comprimento de onda (λ) e por sua frequência (f). Quando essas radiações propagam-se no vácuo, todas apresentam o mesmo valor para:</p> <p>a) λ b) f c) λf d) λ/f e) λ^2/f</p>	<p>4) (UFPI) As cores de luz exibidas na queima de fogos de artifício dependem de certas substâncias utilizadas na sua fabricação. Sabe-se que a frequência da luz emitida pela combustão do níquel é $6,0 \times 10^{14}$ Hz e que a velocidade da luz é 3×10^8 m·s⁻¹.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Com base nesses dados e no espectro visível fornecido pela figura abaixo, assinale a opção correspondente à cor da luz dos fogos de artifício que contêm compostos de níquel.</p> <p>a) vermelha b) violeta c) laranja d) verde e) azul</p> </div>
---	---

Nestas duas questões são aplicados conhecimentos sobre a equação que correlaciona a frequência, o comprimento de onda e a velocidade de uma onda. Elas exigem o domínio destes conceitos na equação para a manipulação da fórmula, raciocínio lógico matemático e na questão Q4, exige-se também uso da notação científica. Esse fato nós dá indícios de que a aprendizagem ocorreu predominantemente na parte conceitual. É possível sugerir que estas questões tiveram um índice de acertos menor porque envolvem o uso de fórmulas matemáticas.

O material produzido neste trabalho visa, entre outras coisas, dar ênfase ao sentido físico e quantificável da luz, expresso mais facilmente na forma das cores que enxergamos. Para nós, essa ênfase tem forte base conceitual e não faz uso excessivo da matemática embora ela seja essencial para a realização do ajuste linear usado no processo de calibração dos espectros e na interpretação de fórmulas simples.

Observando os dados do gráfico presente na *Figura 4.10*, que indica a porcentagem do número de acertos no pré-teste e no pós-teste no 2°C, verificamos uma grande flutuação nos valores, o que inviabilizam sua análise. Acreditamos que esta seja decorrente da alta rotatividade dos alunos nesta turma. Durante a aplicação da sequência didática, havia 16 alunos a cada aula. Entretanto apenas cinco fizeram o pré-teste e todos os pós-testes. Muitos dos alunos que fizeram o pré-teste não fizeram o pós-teste e vice versa.

Figura 4.10: Porcentagem da quantidade de acertos por questão no 2°C.



Dentre as 12 questões, a quantidade de questões em houve aumento no número de acertos no pós-teste é de apenas três. Mesmo assim, as questões Q4 e Q5 tiveram um aumento de acertos de apenas 5% e 4% respectivamente o que pode estar dentro de variações estatísticas esperadas para estes tipos de análises, não havendo melhoria da aprendizagem nos assuntos envolvidos nestas questões na prática. Apenas a questão Q1 apresentou significativo aumento de 47%. De nossa prática profissional no colégio constatamos o problema da alta rotatividade na frequência dos alunos e os altos índices de evasão escolar.

Reforçamos aqui que esta análise tem caráter de *feedback* de nossa prática, sem fins estatísticos. Nossa interpretação estatística tem caráter puramente qualitativo. Dessa maneira nós buscamos analisar os sujeitos pesquisados enquanto pertencentes a um contexto, uma situação de contorno, que foi descrita ao logo da *seção 3.1 “Contexto”*, da *seção 3.2 “Sujeitos pesquisados: população e amostra”* e do *capítulo 4 “discussão sobre a aplicação do Produto”*.

Por fim, cabe uma observação a respeito da aprendizagem segundo Ausubel, pois após a aplicação do pré-teste e do pós-teste foi possível analisar o produto do ponto de vista das formas de aprendizado e acomodação dos conceitos na estrutura cognitiva dos alunos no contexto no qual ele foi aplicado.

Quanto ao tipo de aprendizagem que ocorreu com os sujeitos desta pesquisa, o produto enquadra-se na aprendizagem combinatória, visto que os conteúdos motivadores e os temas abordados não apresentaram subordinação ou superordenação com relação a um conteúdo preexistente, mas sim uma relação de hierarquia mais geral na estrutura cognitiva do aluno. Assim, os novos conceitos não foram assimilados através de outros conceitos já estabelecidos na mente do aluno. Acreditamos que a aprendizagem ocorreu de forma combinatória pelo fato de que os temas abordados foram vistos pela primeira vez por muitos alunos, ou não foram vistos com profundidade o suficiente para gerar um *subsunção* e consequentemente gerar aprendizagem subordinada ou superordenada (vide *seção 2.1*).

4.5.2. Ajustes na sequência sugeridos pelo autor

A atividade de calibração foi prevista inicialmente para classe, mas percebendo que não haveria tempo, nós a colocamos como atividade para casa. Como foi dito durante a descrição da aula 02 (*seção 0*), acreditamos que os alunos não tenham realizado a atividade de calibração sozinhos, por não terem aprendido o assunto o suficiente para executá-la em casa. No entanto, também dentro de nossa experiência profissional não foi incomum verificar este hábito dos alunos em relação às atividades deixadas para casa. Para evitar este problema sugerimos que esta atividade seja feita em uma aula a mais (estendendo a sequência didática) com método expositivo, porém com a turma dividida em grupos. Em um primeiro momento o assunto deverá ser exposto no quadro pelo professor e em um momento seguinte os alunos realizarão a calibração, enquanto o professor fará o papel de tutor. Na verdade, no *APÊNDICE P (etapas da sequência didática)* nós já inserimos este ajuste oferecendo opções de flexibilização da sequência, tornando-a mais extensa caso o professor julgue adequado.

No que diz respeito ao pré-teste, acreditamos que o tempo destinado para que os alunos o respondessem (30 minutos) foi muito curto, visto que ele possui 12 questões e desse modo o tempo máximo para a resolução de cada questão é de apenas 2,5 minutos. Assim, sugerimos que uma aula inteira seja destinada à resolução do pré-teste (50 minutos, sendo aproximadamente quatro minutos por questão). Nós fizemos esta correção no *APÊNDICE P “Etapas da Sequência Didática”*. Pretendemos com isso dar tempo suficiente ao aluno, para que ele não dê uma resposta errada apenas porque se sentiu pressionado pelo pouco tempo.

Na terceira aula no 2ºC, os alunos demonstraram desinteresse. Havia um importante fator externo que foi a proximidade com uma gincana escolar, mas talvez haja também um fator interno, pois é possível que a sequência tenha sido muito densa para a turma. Desse

modo ela não estaria na zona de desenvolvimento proximal de alguns alunos, o que interfere na aprendizagem. Sugerimos que o professor esteja mais atento a estes eventos externos a sua aula e que se eles existirem, que se dê atenção redobrada aos alunos que aparentarem desmotivação.

Sugerimos ainda que a atividade sobre o Efeito Doppler em galáxias e a de determinação da idade do Universo, que não foi aplicada também por não haver tempo hábil, seja realizada em uma aula a mais (novamente estendendo a sequência didática), mesclando aula expositiva com atividades em grupos. Contudo, fica a critério do professor usar uma ou duas aulas para a realização destas duas atividades, visto que ele é quem terá a possibilidade de avaliar o grau de desenvolvimento da turma. Segundo (OLIVEIRA, 2005) *“quando o professor utiliza técnicas expositivas combinadas a outros tipos de práticas pedagógicas, poderá favorecer melhor aproveitamento na aquisição dos conceitos, durante o processo de ensino em sala de aula”* (AUSUBEL, 1980) apud (OLIVEIRA, 2005, p. 242).

Por fim, nós propomos que ao final da sequência didática e da aplicação das atividades, seja ministrada também uma aula de revisão expositiva com o objetivo de consolidar os principais conceitos, fechando, portanto, o ciclo de aprendizagem deste tema no nível proposto.

4.5.3. O método Jigsaw e a participação dos alunos

O método de aprendizagem cooperativa Jigsaw traz na sua história a busca pela aproximação das pessoas, pela criação de um ambiente de convívio não competitivo, pela autonomia do estudante e pelo sentimento de corresponsabilidade. Acreditamos que nestas três aulas o principal ganho foi a tentativa de “chacoalhar” os alunos, tirando-os das suas “zonas de conforto” e passividade onde estavam habituados com a prática de aulas tradicionais. Cremos que estas três aulas geraram neles o desconforto inicial já esperado.

Tivemos dificuldades em fazer os alunos desempenharem suas funções no grupo (vide seção 2.2), apesar de, a cada início de aula, destacarmos a importância disso. Sobre isto (COCHITO, 2004) afirma:

Alguns professores estranharão a importância dada à distribuição de funções acima descritas e a sua experiência dir-lhes-á que não é fácil convencer os alunos a agir de forma tão estruturada e organizada. De facto, a adesão dos alunos, sobretudo os mais velhos, está, normalmente, longe de ser entusiástica... pelo que será importante não desistir face aos primeiros indícios de resistência. Há várias medidas que podem ajudar a vencer os primeiros obstáculos, até que os próprios alunos comecem a sentir a diferença. [...]

Pode ser útil, no início, fazer um role-play em que os elementos dos grupos representam papéis de bom e mau facilitador e das outras funções. (COCHITO, 2004, p. 63)

As funções dos alunos no grupo foram introduzidas, pois acreditamos que elas podem ser importantes para desenvolver algumas habilidades de inteligência emocional e favorecer a aprendizagem cognitiva. No entanto, apesar de sua importância para as muitas variações da prática Jigsaw, nessa sequência didática específica, percebemos que as funções não foram tão relevantes, exceto a de facilitador. Reforçamos, contudo, que sempre se deve avaliar cada prática, buscando a inserção das outras funções nos grupos e a apropriação destas pelos alunos.

Cochito (2004) traz também um quadro comparativo (*Figura 4.11***Erro! Fonte de referência não encontrada.**) produzido pelos irmãos Johnson que foram percussores da aprendizagem cooperativa e que a divulgaram desde a década de 60. Este quadro faz um comparativo entre diferentes métodos de aprendizagem cooperativa, classificando-os sob os critérios:

“(i) facilidade com que o professor aprende o método, (ii) facilidade de utilização inicial na sala de aula; (iii) facilidade de utilização a longo prazo, (iv) aplicabilidade a uma variedade de áreas de conhecimento e níveis de aprendizagem e (v) facilidade de adaptação a diferentes condições de utilização” (COCHITO, 2004, p. 32).

A escala usada é de 1 a 5, em que 1=difícil é 5=fácil. Segundo este quadro, presente na *Figura 4.11*, dentre oito métodos, o Jigsaw obteve as notas 2, 2, 3, 3 e 3, seguindo a ordem dos critérios descritos acima. Percebe-se que no quesito “*ii) facilidade de utilização inicial na sala de aula*” a nota atribuída foi dois, sinalizando que o início da aplicação do método de aprendizagem pode apresentar dificuldades um pouco maiores que em outros métodos.

Figura 4.11: Natureza conceitual das modalidades de aprendizagem cooperativa (adaptado). (COCHITO, 2004).

Método	Aprender	Uso inicial	Longo prazo	Outras áreas	Adaptabilidade	Total
Aprender Juntos	5	5	5	5	5	25
Instrução Complexa	5	5	3	3	3	19
TGT	3	3	1	2	2	11
STAD	2	2	1	2	2	9
Estruturas Cooperativas	1	1	1	1	5	9
Polêmica Construtiva	5	5	5	4	4	23
Investigação de Grupo	5	5	3	2	2	17
Grupos de Especialistas	2	2	3	3	3	13

Adaptado de www.co-operation.org.

Segundo (COCHITO, 2004) o número de trabalhos que apresentaram uso de modalidades de aprendizagem cooperativa usados pelos irmãos Johnson em sua pesquisa, varia consideravelmente, pois habitualmente só são publicados os estudos que apresentam bons resultados (positivos), portanto esta classificação de diferentes métodos de aprendizagem cooperativa deve ser usada com prudência, embora tenha auxiliado na compreensão das dificuldades enfrentadas no presente trabalho.

Os alunos demonstraram resistência na comunicação: dificuldade de perguntar, de organizar as ideias e de se expressar durante uma explicação. Apresentaram timidez. Fato geralmente normal em turmas de qualquer faixa etária. O que percebemos é que os alunos foram se habituando às práticas das aulas, as etapas do processo. Acreditamos que usando mais aulas com metodologias de aprendizagem cooperativa seria possível observar uma maior interação aluno-aluno e aluno-professor, o que produziria um maior interesse dos alunos pelas aulas, a diminuição de conflitos, como as práticas de *bullying* e melhorias no aprendizado significativo de fato, pois “*o desenvolvimento cognitivo não ocorre independente do contexto social, histórico e cultural*” (MOREIRA, 1999) e a experiência cognitiva é sempre acompanhada de algumas experiências afetivas, sendo elas, portanto complementares.

Um fato de destaque foi que ao final da terceira aula notamos que os alunos já não estavam tão preocupados com quais seriam os seus colegas de grupo, ou seja, os grupos não foram necessariamente formados por critérios de amizade. Para nós, isso demonstra uma afirmação da teoria de Aprendizagem de Vygotsky, na qual os aspectos culturais possuem um

papel determinante para a aprendizagem e das capacidades do método Jigsaw, quando notamos uma melhora nas relações interpessoais em classe.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste trabalho tivemos como objetivo o desenvolvimento de uma sequência didática que abordasse tópicos de óptica e ondulatória, usando a Astronomia como elemento motivador. Nele, ela foi introduzida de maneira interdisciplinar, de forma a conciliar seus elementos potencialmente curiosos e interessantes, muitas vezes abordados em jornais e outros meios de comunicação, com os assuntos da grade curricular de Física.

Estimulados pelo contexto em que muitas escolas brasileiras estão inseridas, no que diz respeito ao *bullying* e ao sucateamento das salas de informática, optamos por uma metodologia de aprendizagem cooperativa que não necessitasse do uso de computadores por parte dos alunos, requerendo apenas de um computador para a exibição dos slides. Apesar disso achamos também de grande relevância produzir materiais que ensinem os passos (feitos no computador) para a obtenção e tratamento dos espectros, aqui produzidos, pois, estes são importantes para que os professores que desejem, possam se apropriar deste instrumental criando a possibilidade de não só reproduzir o que foi feito, mas de adaptar a outras propostas didáticas, criando seus próprios materiais. Assim, além de detalhar o que foi feito na *seção 3.4 “Obtenção dos Espectros”* e na *seção APÊNDICE J “Procedimentos para obtenção do gabarito das linhas espectrais usando dados do NIST”* foram produzidos dois vídeos tutoriais (SCARANO JR e PEREIRA, 2018a) e (SCARANO JR e PEREIRA, 2018b), com a finalidade de auxiliar o professor no desenvolvimento de seus próprios materiais.

Neste trabalho criamos uma sequência de três aulas com a metodologia de aprendizagem cooperativa Jigsaw. Nos empenhamos em desenvolver um produto educacional que fossem atrativos aos alunos, para que estes pudessem ter interesse em aprender, item substancial para que ocorra a aprendizagem significativa segundo a teoria de Ausubel (MOREIRA, 1999). Com este objetivo elaboramos 15 cartões com funcionalidades complementares entre si, adequados à estratégia Jigsaw, bem ilustrados e com linguagem adequada ao aluno do Ensino Médio. Também criamos materiais para duas atividades, uma sobre a calibração de espectros e outra sobre o Efeito Doppler em galáxias. Todo o material de apoio ao professor está disponível em (PEREIRA, 2018).

A sequência didática foi aplicada em duas turmas do Ensino Médio, uma do segundo ano e outra de terceiro ano. Para termos um *feedback* a respeito da ação proposta, apelamos para um pré-teste e um pós-teste sem grandes finalidades estatísticas. No terceiro ano os resultados do pós-teste foram positivos em relação ao pré-teste, com uma boa margem evolução na quantidade de acertos. Isto é particularmente visível em mais de 50% das

questões propostas. Utilizando taxonomia de Bloom pudemos detectar uma particular deficiência da turma na dimensão “Avaliar”, o que nos fornece um *feedback* para futuras aplicações. Já no segundo ano houve uma aparente inversão de resultados, como se a aplicação de nossos produtos tivesse gerado uma redução nas taxas de acerto. No entanto, em termos estatísticos os resultados do pós-teste foram inconclusivos, e atribuímos isto a outro efeito, relativo à grande rotatividade dos alunos que frequentaram as aulas, de modo que os alunos que fizeram o pré-teste e as atividades com os pós-testes foram significativamente diferentes, de modo que não pudemos, na realidade desta classe, garantir uniformidade na população atingida.

Em nosso planejamento original havíamos reservado três aulas para aplicação do conteúdo, porém detectamos que a sequência didática proposta por nós necessita de uma série de ajustes, como discutido na *seção* **Erro! Fonte de referência não encontrada..** O principal problema que detectamos foi o tempo insuficiente para aplicação final dos conteúdos explorados, de forma que a atividade sobre o efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo (*APÊNDICE K*) não pode ser executadas em nenhuma das turmas nas aulas a que foi destinada, a que recomendamos uma aula extra. Além disso, foi pedido aos alunos que realizassem a atividade de calibração em casa a partir de conteúdos ensinados em classe, o que foi infrutífero, pois não consideramos o hábito dos alunos de não realizarem atividades de casa. Para isto ou submetemos aos alunos uma mudança de rotina, o que pode ser demorado, ou agregamos outra aula em nossa sequência didática, em que a atividade seja realizada em sala de aula e reestabelecemos uma estratégia mais gradativa na aprendizagem da parte matemática de nossa sequência didática.

Na idealização deste trabalho, buscamos um modelo de espectroscópio que atendesse às nossas necessidades. Alguns testes foram realizados e ao fim, optamos por um modelo de fácil construção. Como perspectivas futuras nós pretendemos realizar um estudo comparativo sobre os tipos de espectroscópios caseiros que estão disponíveis em tutoriais na internet. Com isso nosso objetivo é definir parâmetros específicos, que relacionem o “custo-benefício” de cada tipo, para cada situação. Nós elaboramos um script que visa descobrir a largura a meia altura das linhas espectrais obtidas com os espectros caseiros para analisar a resolução destes espectros, e assim tratar de forma objetiva as qualidades de cada espectrógrafo. Também pretendemos oferecer oficinas em escolas com alunos mais interessado sobre o tema ou com professores, utilizando o produto educacional produzido nesse trabalho.

Quanto à metodologia de ensino houve uma considerável melhoria na relação aluno-aluno. Percebemos que de fato, a metodologia de ensino Jigsaw é uma prática socializante.

Foi possível notar que a realização da sequência didática superou atritos pessoais entre alunos. Acreditamos que sua prática frequente auxilie na melhoria das relações como um todo na escola.

Entendemos que parte do problema do ensino de Física, não seja exclusivo da disciplina, mas faça parte da educação brasileira como um todo. Ela é excludente, baseada em resultados. Isto nos leva a uma discussão sobre o olhar lançado aos nossos alunos: a aplicação de um método de aprendizagem cooperativa tem seus benefícios reduzidos quando a estrutura escolar, educacional e social leva à competição, ao foco quase que exclusivo nos resultados em termos de notas. Não é difícil identificar entre nós professores, uma percepção de que o estudante é reflexo dos seus resultados em avaliações somativas. Acreditamos que o valor social dado às avaliações e consequentemente à nota deve dar lugar a preocupação em se fazer avaliações formativas, com o intuito de verificar se os objetivos da aprendizagem foram alcançados e, caso contrário, ajustar o processo para gerar uma aprendizagem significativa.

O desenvolvimento deste trabalho nos possibilitou uma reflexão profunda a respeito das práticas educacionais. Em nossa pesquisa, pudemos analisar e fazer modificações em nossa postura, no sentido da tomada de responsabilidade no processo educacional mais amplo.

6. BIBLIOGRAFIA

- "JIGSAW Classroom", 2017. Disponível em: <<https://www.jigsaw.org/#overview>>. Acesso em: 25 Janeiro 2017.
- ABRAMOVAY, M.; RUA, M. D. G. *Violência nas escolas*. In: _____ *Violência nas escolas*. [S.l.]: Unesco, 2002.
- ALENCAR, M. *Entrevista com Léa Fagundes sobre inclusão digital*. Nova Escola, 2005.
- APOLO11.COM. *Construa um espectroscópio e entenda como os cientistas sabem a composição química dos planetas e estrelas*. Disponível em: <<http://www.apolo11.com/espectro.php>>.
- ARONSON, E. *Building empathy, compassion, and achievement in the jigsaw classroom*. Improving academic achievement: Impact of psychological factors on education, p. 209--225, 2002.
- AUGUSTO, T. G. D. S.; CALDEIRA, A. M. A. *Dificuldades para a implantação de práticas interdisciplinares em escolas estaduais, apontadas por professores da área de ciências da natureza*. Investigações em Ensino de Ciências, v. 12, p. 139-154, 2016.
- BARROS, L. G.; ASSIS, A.; LANGHI, R. *Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, p. 1026-1046, 2016.
- BASSALO, J. M. F. *A Crônica da Ótica clássica*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 3, p. 138-159, Dezembro 1986.
- BRASIL. *Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC/SEB, 2006.
- CALOGERAS, L. *Somente pessoas com uma visão super desenvolvida conseguirão ver o que se esconde nas imagens a seguir*. casos Interessantes, 2018. Disponível em: <<https://casosinteressantes.org>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- CAMTASIA. *Software editor de vídeo camtasia studio*. Disponível em: <<https://www.techsmith.com/video-editor.html>>.
- CANHICI, M. H. *Estudo sistemático de monografias dos finalistas do ISCED-Cabinda sobre dificuldades de aprendizagem (2006-2011)*, 2014.
- CATELLI, F.; PEZZINI, S. *Laboratório caseiro: observando espectros luminosos-espectroscópio portátil*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, p. 264-272, 2002.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. *Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, p. 372-389, 2004.

- CAVALCANTI, L. D. S. *Cotidiano, mediação pedagógica e formação de conceitos: uma contribuição de Vygotsky ao ensino de Geografia*. Cadernos Cedes, 25, 2005. 185-207.
- CGI.BR. *Educação e tecnologias no Brasil: um estudo de caso longitudinal sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação em 12 escolas públicas*. São Paulo: Estudos Setoriais, 2016.
- COCHITO, M. *Cooperação e aprendizagem: educação intercultural*. Lisboa: Acime, 2004.
- DAMINELI, A. et al. *O Céu Que Nós Envolve*. 1ª. ed. São Paulo: Odysseus Editora Ltda., 2011.
- FATARELI, E. F. et al. *Método cooperativo de aprendizagem jigsaw no ensino de cinética química*. Química nova na escola, 32, 2010. 161--168.
- FERRAZ, A. P. D. C. M.; BELHOT, R. V. *Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais*. Gest. Prod., São Carlos, 17, 2010. 421--431.
- FIGUEIREDO, L. *Luz Teconologia e Arte*, 2017. Disponível em: <<http://luztecnologiaearte.weebly.com/luz-e-fisiologia-da-visatildeo.html>>. Acesso em: 4 ago. 2017.
- FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. *Espectroscopia*, 2007. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/>>. Acesso em: 6 mar. 2018.
- FOGAÇA, J. R. V. *Espectros de Emissão e de Absorção e Leis de Kirchhoff*. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilestola.uol.com.br/quimica/espectros-emissao-absorcao-leis-kirchhoff.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2107.
- GIMP. Downloads, 2017. Disponível em: <<https://www.gimp.org>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- GUIMARÃES, G.; SADE, W. *Utilizando a transposição didática para introdução do átomo de bohr no ensino médio*. Simpósio Nacional de Ensino de Física., v. 18, p. 1-10, 2009.
- IFSC, 2017. Disponível em: <<http://www.ifsc.usp.br/~donoso/espectroscopia/Historia.pdf>>. Acesso em: 8 Fev. 2017.
- LACARRA, M.; MAJCHER, A. *Spectra around us - playing with a spectroscope*. <http://www.euhou.net>, 2016. Disponível em: <<http://www.euhou.net/index.php/exercises-mainmenu-13/classroom-experiments-and-activities-mainmenu-186/179-observations-of-various-spectra-with-a-home-made-spectroscope>>. Acesso em: 25 setembro 2016.
- LANGHI, R. *Astronomia nos anos iniciais do ensino fundamental: repensando a formação de professores*. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru. [S.l.]. 2009.
- MASLOW, A. H. *A theory of human motivation*. Psychological review, 50, 1943. 370.

- MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. [S.l.]: Editora pedagógica e universitária São Paulo, 1999.
- MOREIRA, M. A. *Negociação de significados e aprendizagem significativa*. Ensino, saúde e ambiente, v. 1, 2008.
- MOREIRA, M. A. *O que é afinal aprendizagem significativa?* (after all, what is meaningful learning?). Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas, p. 5, 2012.
- NARDI, R.; TEODORO GATTI, S. R. *Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências*. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, 2004.
- NASA. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/sites/default/files/casa.jpg>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- NEWTON, I. *Opticks, or, a treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light*. [S.l.]: Courier Corporation, 1979.
- NIST. <https://www.nist.gov>, 2017. Disponível em: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html>. Acesso em: 02 jun. 2017.
- OLIVEIRA FILHO, K. D. S.; SARAIVA, M. D. F. O. *Astronomia e Astrofísica*. São Paulo: Livraria da Física, v. 780, 2004.
- OLIVEIRA, S. S. D. *Concepções alternativas e ensino de biologia: como utilizar estratégias diferenciadas na formação*. Educar em Revista, Paraná, p. 233-250, 2005.
- ONU. *Em 2015, ONU comemora Ano Internacional da Luz*, 22 jan. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/em-2015-onu-comemora-ano-internacional-da-luz>>. Acesso em: 9 Fev. 2017.
- PEDUZZI, L. O. Q. *Do átomo grego ao átomo de Bohr*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- PEREIRA, J. pereira2018, 2018. Disponível em: <<http://bit.ly/pereira2018>>. Acesso em: 07 jul. 2018.
- SAMPAIO, D. *Indisciplina: um signo geracional?* [S.l.]: Ministério da Educação, Inst. de Inovação Educacional, 1997.
- SARAIVA, M. D. F. O. *A expansão do Universo*. Instituto de Física da UFRGS. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/expansao-universo.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- SARAIVA, M. D. F. O.; FILHO, K. D. S. O.; MÜLLER, A. M. *Aula 17: Espectroscopia*, 2018. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula17-132.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.

- SATELLITE-GROUP, 2018. Disponível em: <http://joseba.mpch-mainz.mpg.de/doas_history.htm>. Acesso em: 6 mar. 2018.
- SCARANO JR, S.; PEREIRA, J. *Instalando o Guimp*, ASTUTOS-UFS. Youtube, 2018a. Disponível em: <<https://youtu.be/9pLlFr2fqpo>>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- SCARANO JR, S.; PEREIRA, J. *Retificando Espectros Extraídos com Espectrógrafos Caseiros Utilizando o GIMP*. ASTUTOS-UFS. Youtube, 2018b. Disponível em: <https://youtu.be/4ojEY_omC8c>. Acesso em: 20 mar. 2018.
- SDSS. *Data Access Tools*, 2018. Disponível em: <<https://skyserver.sdss.org/dr14/en/home.aspx>>. Acesso em: 20 jul. 2017.
- SEED, S. *Portal da secretaria de estado da educação de sergipe*, 2017. Disponível em: <<https://www.seed.se.gov.br/redeestadual/Escola.asp?cdescola=349&cdestrutura=110>>. Acesso em: 2017.
- SPÓSITO, M. P. *Um breve balanço da pesquisa sobre violência escolar no Brasil*. Educação e pesquisa, v. 27, p. 87-103, 2001.
- TERRAZZAN, E. A. *A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2 grau*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 9, p. 209-214, 1992.
- UFRGS. *Medindo velocidades*. www.if.ufrgs.br, 2018. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/doppler.htm>>. Acesso em: 17 set. 2018.
- UFRGS. *O Espectro eletromagnético*. www.if.ufrgs.br, 2018. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>>. Acesso em: 17 set. 2018.
- USP-CDCC. *experimentoteca*, 2016. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit6_otica_fisica/exp6_otica_fisica.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- XAVIER, A. *Monte um espectroscópio ou espectrógrafo*. Astronomia Prática, 2016. Disponível em: <astronomiapratica.blogspot.com/2016/05/monte-um-espectroscopio-ou.html>. Acesso em: 25 Fevereiro 2017.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física

APÊNDICES

**APRENDIZAGEM COOPERATIVA: ESTUDANDO CONCEITOS
FÍSICOS DE COR E ESPECTRO ATRAVÉS DA ASTRONOMIA**

Jéssica Pereira Santos

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scarano Júnior.

São Cristóvão – SE
2018

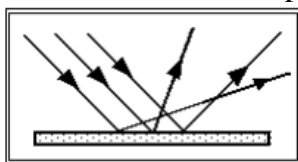
APÊNDICE A Pré-teste

QUESTÕES DO PRÉ-TESTE

1) (FUVEST) Radiações como raios X, luz verde, luz ultravioleta, microondas ou ondas de rádio, são caracterizadas por seu comprimento de onda (λ) e por sua frequência (f). Quando essas radiações propagam-se no vácuo, todas apresentam o mesmo valor para:

- a) λ b) f c) λf d) λ/f
 e) λ^2/f

2) (UFAL) A figura representa um feixe de raios paralelos incidentes numa superfície S e os correspondentes raios emergentes. Esta figura ilustra o fenômeno óptico da



- a) dispersão.
 b) reflexão difusa.
 c) refração.
 d) difração.
 e) reflexão regular.

3) (Enem 2014) É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias:

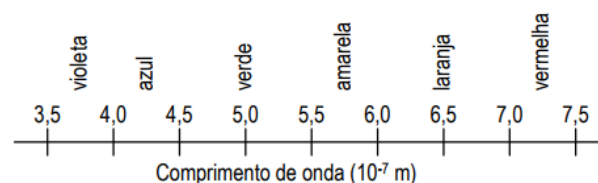
vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em 20 maio 2014 (adaptado).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

- a) Ciano.
 b) Verde.
 c) Amarelo.
 d) Magenta.
 e) Vermelho.

4) (UFPI) As cores de luz exibidas na queima de fogos de artifício dependem de certas substâncias utilizadas na sua fabricação. Sabe-se que a frequência da luz emitida pela combustão do níquel é $6,0 \times 10^{14}$ Hz e que a velocidade da luz é 3×10^8 m·s⁻¹. Com base nesses dados e no espectro visível fornecido pela figura abaixo, assinale a opção correspondente à cor da luz dos fogos de artifício que contêm compostos de níquel.



- a) vermelha
 b) violeta
 c) laranja
 d) verde
 e) azul

5) (Enem 2011) Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores

(Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

Figura 1

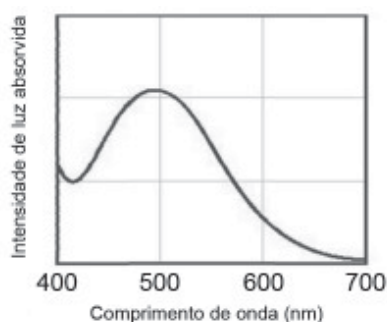
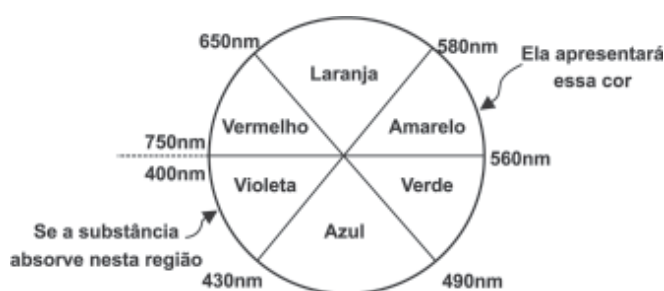


Figura 2



Qual a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

- a) Azul.
- b) Verde.
- c) Violeta.
- d) Laranja.
- e) Vermelho.

6) (Enem 2017) A retina é um tecido sensível à luz, localizado na parte posterior do olho, onde ocorre a formação de imagem. Nesse tecido, encontram-se vários tipos celulares específicos. Um desses tipos celulares são os cones, os quais convertem os diferentes comprimentos de onda da luz visível em sinais elétricos, que são transmitidos pelo nervo óptico até o cérebro.

Disponível em: www.portaldaretina.com.br. Acesso em: 13 jun. 2012 (adaptado).

Em relação à visão, a degeneração desse tipo celular irá

- a) comprometer a capacidade de visão em cores.
- b) impedir a projeção dos raios luminosos na retina.
- c) provocar a formação de imagens invertidas na retina.
- d) causar dificuldade de visualização de objetos próximos.
- e) acarretar a perda da capacidade de alterar o diâmetro da pupila.

7) (Enem 2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor.

WENDLING, M. *Sensores*. Disponível em: www2.feg.unesp.br. Acesso em: 7 maio 2014 (adaptado).

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- a) da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas.
- e) das ondas longas de rádio.

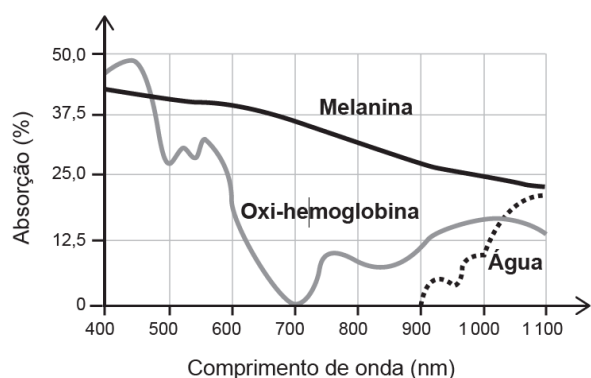
8) (Unesp) A luz visível é uma onda eletromagnética, que na natureza pode ser produzida de diversas maneiras. Uma delas é a bioluminescência, um fenômeno químico que ocorre no organismo de alguns seres vivos, como algumas espécies de peixes e alguns insetos, onde um pigmento chamado luciferina, em contato com o oxigênio e com uma enzima chamada luciferase, produz luzes de várias cores, como verde, amarela e vermelha. Isso é o que permite ao vaga-lume macho avisar, para a fêmea, que está chegando, e à fêmea indicar onde está, além de servir de instrumento de defesa ou de atração para presas.

As luzes verde, amarela e vermelha são consideradas ondas eletromagnéticas que, no vácuo, têm:

- os mesmos comprimentos de onda, diferentes frequências e diferentes velocidades de propagação.
- diferentes comprimentos de onda, diferentes frequências e diferentes velocidades de propagação.
- diferentes comprimentos de onda, diferentes frequências e iguais velocidades de propagação.
- os mesmos comprimentos de onda, as mesmas frequências e iguais velocidades de propagação.
- diferentes comprimentos de onda, as mesmas frequências e diferentes velocidades de propagação.

9) (ENEM 2017) A epilação a laser (popularmente conhecida como depilação a laser) consiste na aplicação de uma fonte de luz para aquecer e causar uma lesão localizada e controlada nos folículos capilares. Para evitar que outros tecidos sejam danificados, selecionam-se comprimentos de onda que são absorvidos pela melanina presente nos pelos, mas que não afetam a oxi-hemoglobina do sangue e a água dos tecidos. A figura mostra como é a absorção de diferentes comprimentos de onda pela melanina, oxi-hemoglobina e água.

Qual é o comprimento de onda, em nm, ideal para a epilação a laser?



MACEDO, F. S.; MONTEIRO, E. O. Epilação com laser e luz intensa pulsada. Revista Brasileira de Medicina. Disponível em: www.moreirajr.com.br. Acesso em: 4 set. 2015 (adaptado).

- 400
- 700
- 1 100
- 900
- 500

10) (PUCCAMP-SP) Um professor lê o seu jornal sentado no banco de uma praça e, atento às ondas sonoras, analisa três eventos:

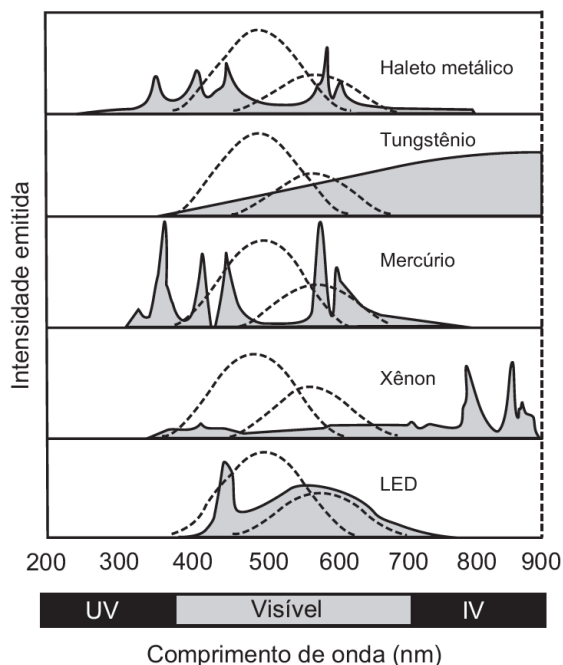
- O alarme de um carro dispara quando o proprietário abre a tampa do porta-malas.
- Uma ambulância se aproxima da praça com a sirene ligada.
- Um mau motorista, impaciente, após passar pela praça, afasta-se com a buzina permanentemente ligada.

O professor percebe o efeito Doppler apenas:

- no evento I, com frequência sonora invariável.
- nos eventos I e II, com diminuição da frequência.
- nos eventos I e III, com aumento da frequência.
- nos eventos II e III, com diminuição da frequência em II e aumento em III.
- nos eventos II e III, com aumento da frequência em II e diminuição em III.

11) (Enem 2017) A figura mostra como é a emissão de radiação eletromagnética para cinco tipos de lâmpada: haleto metálico, tungstênio, mercúrio, xênon e LED (diodo emissor de luz). As áreas marcadas em cinza são proporcionais à intensidade da energia liberada pela lâmpada. As linhas pontilhadas mostram a sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. UV e IV são as regiões do ultravioleta e infravermelho respectivamente.

Um arquiteto deseja iluminar uma sala usando uma lâmpada que produza boa iluminação, mas que não aqueça o ambiente.



Disponível em: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu>. Acesso em: 8 maio 2017 (adaptado).

Qual tipo de lâmpada melhor atende ao desejo do arquiteto?

- a) Haleto metálico.
- b) Tungstênio.
- c) Mercúrio.
- d) Xênon.
- e) LED.

12) (ENEM 2017) (adaptada) Um fato corriqueiro ao se cozinhar arroz é o derramamento de parte da água de cozimento sobre a chama azul do fogo, mudando-a para uma chama amarela. Essa mudança de cor pode suscitar interpretações diversas, relacionadas às substâncias presentes na água de cozimento. Além do sal de cozinha (NaCl), nela se encontram carboidratos, proteínas e sais minerais.

Cientificamente, sabe-se que essa mudança de cor da chama ocorre pela

- a) reação do gás de cozinha, volatilizando gás cloro.
- b) emissão de luz pelo sódio, produzida por conta da queima do sal.
- c) produção de derivado amarelo, pela reação com o carboidrato.
- d) reação do gás de cozinha com a água, formando gás hidrogênio.
- e) excitação das moléculas de proteína, com formação de luz.

GABARITO

- | | | | | | |
|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1) C | 2) B | 3) D | 4) D | 5) E | 6) A |
| 7) C | 8) C | 9) B | 10) D | 11) E | 12) B |

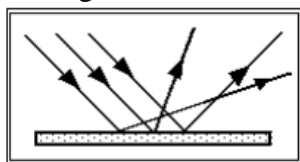
APÊNDICE B Questionário da aula 01

QUESTIONÁRIO AULA 01

1) FUVEST-Radiações como Raios X, luz verde, luz ultravioleta, microondas ou ondas de rádio, são caracterizadas por seu comprimento de onda (λ) e por sua frequência (f). Quando essas radiações propagam-se no vácuo, todas apresentam o mesmo valor para:

- a) λ b) f c) $\lambda \cdot f$ d) λ/f e) λ^2/f

2) (UFAL) A figura representa um feixe de raios paralelos incidentes numa superfície S e os correspondentes raios emergentes. Esta figura ilustra o fenômeno óptico da



- a) dispersão.
b) reflexão difusa.
c) refração.
d) difração.
e) reflexão regular.

3) (Enem 2014) É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias:

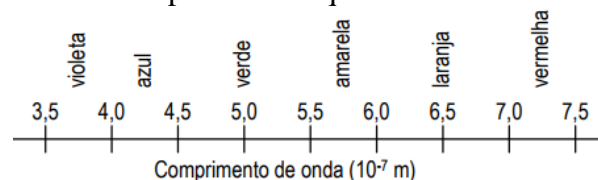
vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em 20 maio 2014 (adaptado).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

- a) Ciano.
b) Verde.
c) Amarelo.
d) Magenta.
e) Vermelho.

4) UFPI- As cores de luz exibidas na queima de fogos de artifício dependem de certas substâncias utilizadas na sua fabricação. Sabe-se que a frequência da luz emitida pela combustão do níquel é $6,0 \times 10^{14}$ Hz e que a velocidade da luz é 3×10^8 m·s⁻¹. Com base nesses dados e no espectro visível fornecido pela figura abaixo, assinale a opção correspondente à cor da luz dos fogos de artifício que contêm compostos de níquel.



- a) vermelha
b) violeta
c) laranja
d) verde
e) azul

5) (Enem 2017) A retina é um tecido sensível à luz, localizado na parte posterior do olho, onde ocorre a formação de imagem. Nesse tecido, encontram-se vários tipos celulares específicos. Um desses tipos celulares são os cones, os quais convertem os diferentes comprimentos de onda da luz visível em sinais elétricos, que são transmitidos pelo nervo óptico até o cérebro.

Disponível em: www.portaldaretina.com.br. Acesso em: 13 jun. 2012 (adaptado).

Em relação à visão, a degeneração desse tipo celular irá

- a) comprometer a capacidade de visão em cores.
- b) impedir a projeção dos raios luminosos na retina.
- c) provocar a formação de imagens invertidas na retina.
- d) causar dificuldade de visualização de objetos próximos.
- e) acarretar a perda da capacidade de alterar o diâmetro da pupila.

6) (Enem 2011) Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

Figura 1

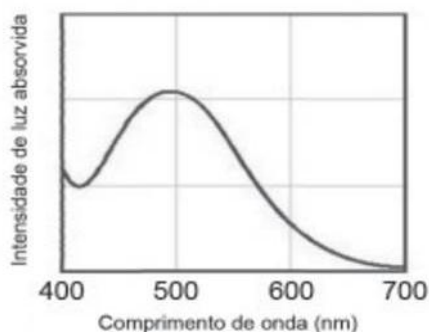
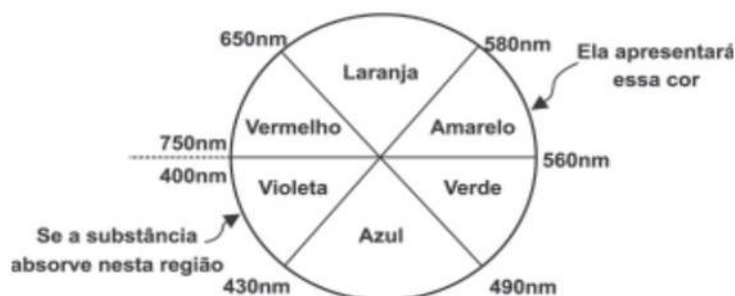


Figura 2



Brown, T. Química a Ciência Central. 2005 (adaptado).

Qual a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

- a) Azul.
- b) Verde.
- c) Violeta.
- d) Laranja.
- e) Vermelho.

GABARITO

- 1) C 2) B 3) D 4) D 5) E 6) A

APÊNDICE C Questionário da aula 02

QUESTIONÁRIO AULA 02

1) (Enem 2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor.

WENDLING, M. *Sensores*. Disponível em: www2.feg.unesp.br. Acesso em: 7 maio 2014 (adaptado).

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- a) da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas.
- e) das ondas longas de rádio.

2) (Unesp) A luz visível é uma onda eletromagnética, que na natureza pode ser produzida de diversas maneiras. Uma delas é a bioluminescência, um fenômeno químico que ocorre no organismo de alguns seres vivos, como algumas espécies de peixes e alguns insetos, onde um pigmento chamado luciferina, em contato com o oxigênio e com uma enzima chamada luciferase, produz luzes de várias cores, como verde, amarela e vermelha. Isso é o que permite ao vaga-lume macho avisar, para a fêmea, que está chegando, e à fêmea indicar onde está, além de servir de instrumento de defesa ou de atração para presas.

As luzes verde, amarela e vermelha são consideradas ondas eletromagnéticas que, no vácuo, têm:

- a) os mesmos comprimentos de onda, diferentes frequências e diferentes velocidades de propagação.

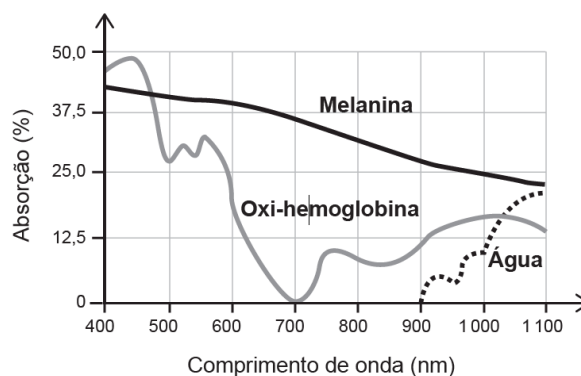
b) diferentes comprimentos de onda, diferentes frequências e diferentes velocidades de propagação.

c) diferentes comprimentos de onda, diferentes frequências e iguais velocidades de propagação.

d) os mesmos comprimentos de onda, as mesmas frequências e iguais velocidades de propagação.

e) diferentes comprimentos de onda, as mesmas frequências e diferentes velocidades de propagação.

3) A epilação a laser (popularmente conhecida como depilação a laser) consiste na aplicação de uma fonte de luz para aquecer e causar uma lesão localizada e controlada nos folículos capilares. Para evitar que outros tecidos sejam danificados, selecionam-se comprimentos de onda que são absorvidos pela melanina presente nos pelos, mas que não afetam a oxi-hemoglobina do sangue e a água dos tecidos. A figura mostra como é a absorção de diferentes comprimentos de onda pela melanina, oxi-hemoglobina e água.



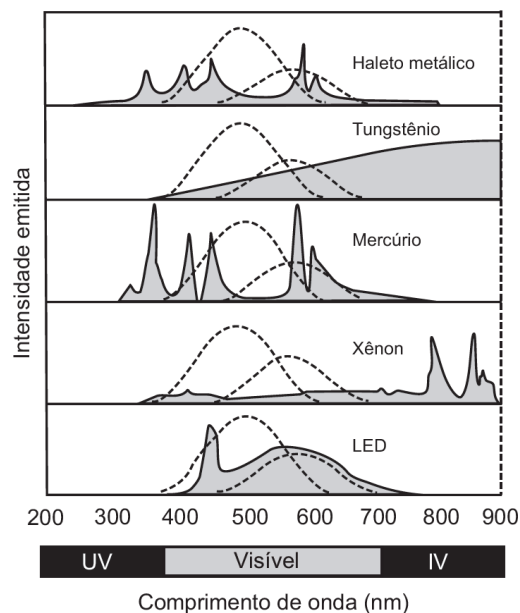
MACEDO, F. S.; MONTEIRO, E. O. Epilação com laser e luz intensa pulsada. *Revista Brasileira de Medicina*. Disponível em: www.moreirajr.com.br. Acesso em: 4 set. 2015 (adaptado).

Qual é o comprimento de onda, em nm, ideal para a epilação a laser?

- a) 400
- b) 700
- c) 1 100
- d) 900
- e) 500

4) (Enem 2017) A figura mostra como é a emissão de radiação eletromagnética para cinco tipos de lâmpada: haleto metálico, tungstênio, mercúrio, xênon e LED (diodo emissor de luz). As áreas marcadas em cinza são proporcionais à intensidade da energia liberada pela lâmpada. As linhas pontilhadas mostram a sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. UV e IV são as regiões do ultravioleta e infravermelho respectivamente.

Um arquiteto deseja iluminar uma sala usando uma lâmpada que produza boa iluminação, mas que não aqueça o ambiente.



Disponível em: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu>. Acesso em: 8 maio 2017 (adaptado).

Qual tipo de lâmpada melhor atende ao desejo do arquiteto?

- a) Haleto metálico.
- b) Tungstênio.
- c) Mercúrio.
- d) Xênon.
- e) LED.

GABARITO

- 1) C 2) C 3) B 4) E

APÊNDICE D Questionário da aula 03

QUESTIONÁRIO - AULA 03

1) (PUCCAMP-SP) Um professor lê o seu jornal sentado no banco de uma praça e, atento às ondas sonoras, analisa três eventos:

I – O alarme de um carro dispara quando o proprietário abre a tampa do porta-malas.

II – Uma ambulância se aproxima da praça com a sirene ligada.

III – Um mau motorista, impaciente, após passar pela praça, afasta-se com a buzina permanentemente ligada.

O professor percebe o efeito Doppler apenas:

a) no evento I, com frequência sonora invariável.

b) nos eventos I e II, com diminuição da frequência.

c) nos eventos I e III, com aumento da frequência.

d) nos eventos II e III, com diminuição da frequência em II e aumento em III.

e) nos eventos II e III, com aumento da frequência em II e diminuição em III.

2) (ENEM 2017) (adaptada) Um fato corriqueiro ao se cozinhar arroz é o

derramamento de parte da água de cozimento sobre a chama azul do fogo, mudando-a para uma chama amarela. Essa mudança de cor pode suscitar interpretações diversas, relacionadas às substâncias presentes na água de cozimento. Além do sal de cozinha (NaCl), nela se encontram carboidratos, proteínas e sais minerais.

Cientificamente, sabe-se que essa mudança de cor da chama ocorre pela

a) reação do gás de cozinha, volatilizando gás cloro.

b) emissão de luz pelo sódio, produzida por conta da queima do sal.

c) produção de derivado amarelo, pela reação com o carboidrato.

d) reação do gás de cozinha com a água, formando gás hidrogênio.

e) excitação das moléculas de proteína, com formação de luz amarela.

GABARITO

1) E 2) B

APÊNDICE E Cartões para aplicação do Método JigSaw: Aula 01

Tema 01 - A LUZ

A Luz é uma forma de energia que sensibiliza nossos olhos. Ela **se propaga em meios materiais e no vácuo**. A luz das estrelas que vemos a noite e a própria luz do Sol são exemplos de como a luz pode viajar no vácuo (ausência de matéria). **A luz se propaga em linha reta**. Sua velocidade de propagação é de 300 000 quilômetros por segundo (3×10^8 m/s). A luz do Sol, por exemplo, leva 8min e 20s pra chegar a Terra!

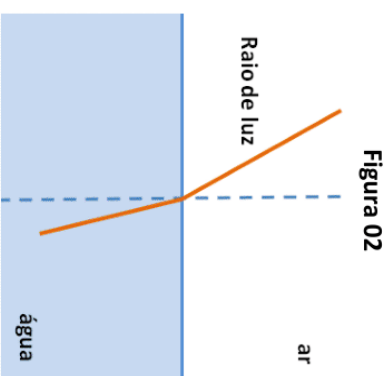
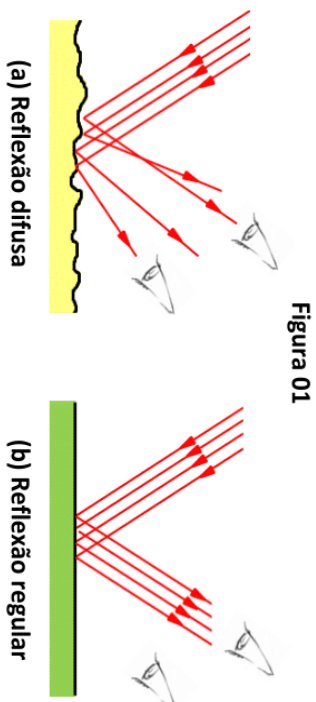
Ao chegar (incidir) em uma superfície como a da lâmina d'água de uma piscina, um livro, ou um espelho a luz a pode ser **refletida, absorvida ou refratada**. Na maioria das vezes ocorrem os três fenômenos, onde geralmente um deles é predominante.

Quando ocorre **reflexão**, significa que a luz incidiu em uma superfície e retornou com o mesmo ângulo que incidiu. A *Figura 01* ilustra esta situação. A reflexão da luz pode ser:

- **REGULAR:** ocorre em superfícies lisas como o espelho, *Figura 01 (b)*;
- **DIFUSA:** ocorre em superfícies com rugosidades, como ocorre na maioria dos objetos, *Figura 01 (a)*;

Quando ocorre **absorção**, significa que a superfície na qual a luz incidiu absorveu aquela luz. Percebemos isso ao andar sob o Sol com roupas pretas. O preto é a cor que sofre maior absorção, por isso roupas escuras esquentam mais que roupas de tons claros.

A **refração** ocorre quando a luz chega a uma superfície e ao entrar nela sofre uma mudança de velocidade, o que faz com que o raio luminoso **mude a direção de propagação** (*Figura 02*). Esse é o fenômeno que ocorre quando vemos uma pessoa que está com metade do corpo dentro de uma piscina. Seu corpo parece estar cortado ao meio, pois a luz que o ilumina sofreu refração.



Tema 02 - O LEQUE DE CORES: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

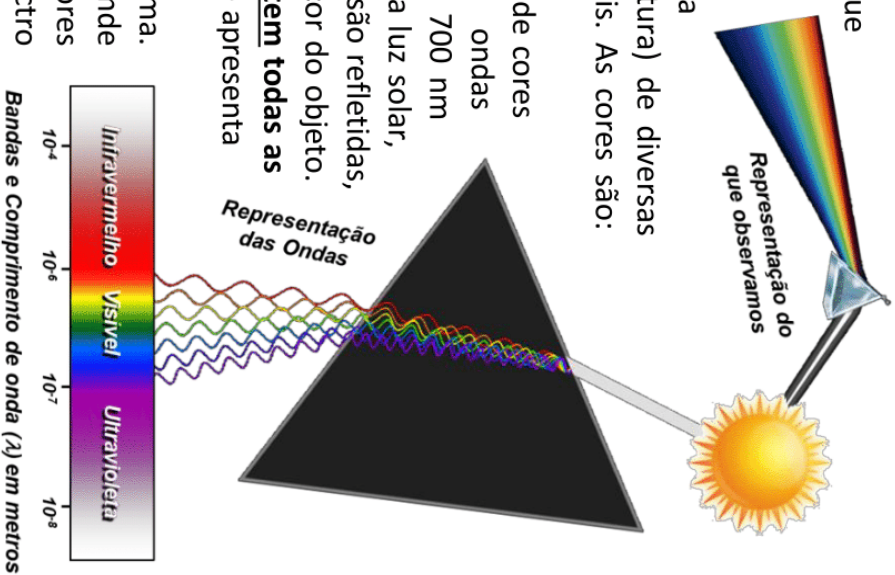
Observe ao seu redor. Qual fonte de luz ilumina o ambiente? De que cor é esta luz? Se for a luz do Sol, ela é branco-amarelada. Essa luz nos possibilita ver objetos de diferentes cores. Mas como isso é possível se a luz que os ilumina é apenas branca?

Para entender como isso ocorre devemos saber que a luz branca (branco-amarelada) que recebemos do Sol é uma composição (mistura) de diversas cores, das quais destacamos sete que comumente vemos no arco-íris. As cores são: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Estas cores compõem o **espectro visível**, ou seja, todo o conjunto de cores que podemos enxergar e que fisicamente é composto por ondas eletromagnéticas que possuem comprimentos de onda de 400 nm a 700 nm (um nanômetro é igual a 10^{-9} m). Quando um objeto é iluminado pela luz solar, por exemplo, ele **absorve** certas radiações e **reflete** outras. Estas que são refletidas, ao chegar a nossos olhos são entendidas pelo nosso cérebro como a cor do objeto. Objetos que apresentam uma cor branca são os que refletem ou emitem **todas as cores que compõe a luz branca**. De maneira semelhante um corpo que apresenta a cor preta **absorve (ou não emitem) todas as cores que nele incidem**.

A figura ao lado ilustra o caminho da luz ao atravessar um prisma. Quando isso ocorre ela sofre um fenômeno chamado de **dispersão**, onde cada onda que compõe a luz é separada, gerando um degradê de cores chamado de espectro visível. Este é uma pequena parte do espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético é composto por diversos **comprimentos de onda (λ)**, que vão desde ondas de rádio, que podem ter desde centímetros a dezenas de metros, até a radiação gama (λ inferiores a 10^{-13} m).



Tema 03 – COMPOSIÇÃO DE CORES

Quando enxergamos uma cor, ela é na verdade é o efeito da composição (mistura) de ondas eletomagnéticas com diferentes comprimentos de onda que se combinam formando as mais diversas cores. Imagine uma gotícula de água sobre a superfície da tela de um monitor. Ela funcionará com uma lente de aumento, mostrando os píxeis que compõe a tela. Estes emitem luz com as cores: **vermelho, azul e verde**. Essas 3 cores formam o sistema de cores **RGB** (Red, Green, Blue) *Figura 01*. Dependendo da cor da imagem que aparecerá no monitor, os píxeis se acendem de modo que a combinação das suas cores forme a cor da imagem na tela.

O padrão de cores **RGB** compõe cores de forma **aditiva**. Assim, a soma das cores vermelho e verde formam a cor amarela. Veja a *Figura 01*: ela mostra a mistura de cores no sistema RGB. Como vemos no centro da figura, **a soma destas três cores na mesma intensidade forma a luz branca**. Veja

RGB

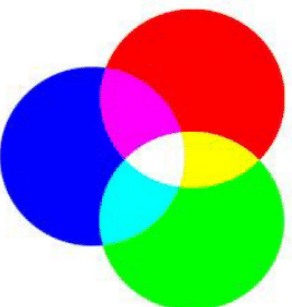


Figura 01

nesta mesma figura a região onde se unem o vermelho e o azul. Essa cor rosada é chamada de magenta. Não existe verde nessa região. Podemos dizer então que a cor magenta é a cor branca da qual foi tirada o verde. Do mesmo modo, a cor ciano e a cor branca da qual foi tirada o vermelho.

É por este processo subtrativo que são compostos os pigmentos das tintas. Assim a absorção de todas as cores forma o preto. Esse padrão é chamado de **subtrativo** e é conhecido como **CMYK** (Cian, Magenta, Yellow, Black) *Figura 02*.

CMYK

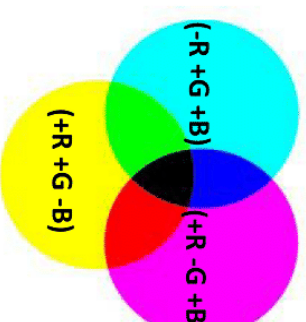


Figura 02

Tema 04 – COMO O OLHO ENXERGA AS CORES?

Tudo o enxergamos é informação luminosa que chega aos nossos olhos. Imagine uma caneta verde. Para podermos enxergá-la devemos estar num ambiente **iluminado**. Nós a vemos verde porque o material de que ela é feita **absorve** todas as outras cores que compõe a luz que chega ao objeto (luz incidente) e **reflete** apenas a luz que corresponde a **cor verde**! Ou seja: a cor que vemos

nos objetos é luz que ele não absorveu, a luz refletida. Se a luz refletida de um objeto chegar aos nosso olhos, nós só veremos o objeto se nossos receptores naturais forem sensibilizados. Mas como o olho consegue ver? Quando a luz chega aos nossos olhos ela sensibiliza **células fotorreceptoras** chamadas **cones** e **bastonetes**. Podemos vê-las na *Figura 01*.

- **Bastonetes:** Detectam a intensidade da onda luminosa (luz). Eles **não distinguem as cores** e funcionam bem à noite porque **não precisam de uma grande quantidade de luz**.

- **Cones:** são responsáveis

por **distinguir as cores**: existem

uns que são sensíveis ao verde, outros ao azul e outros ao vermelho.

Quando os cones de uma pessoa não são capazes de distinguir corretamente as cores, dizemos que esta pessoa sofre de algum tipo de daltonismo, que é um problema genético. Veja a *Figura 02*. Quais símbolos você enxerga?

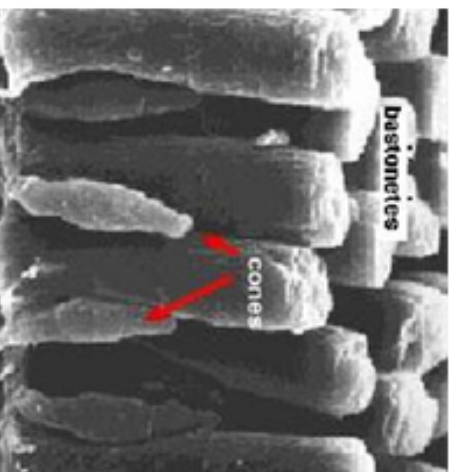


Figura 01

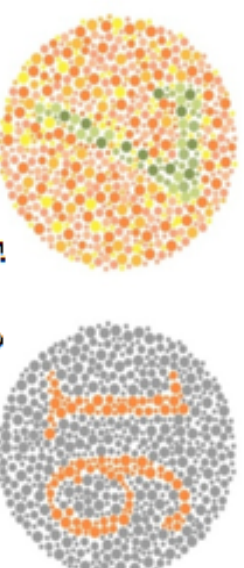
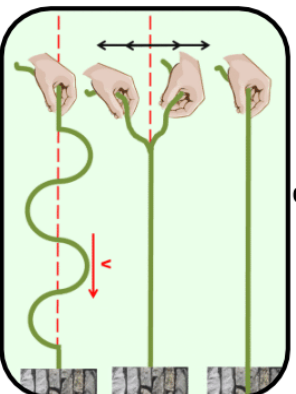


Figura 2

Tema 05 – A LUZ É UMA ONDA?

Figura 01

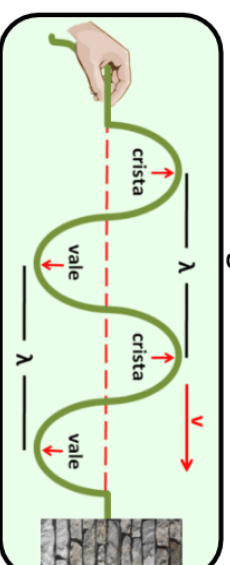


Imagine que você faz movimentos verticais de vai e vem com uma corda. A corda então assumiria uma forma semelhante a *Figura 01*. A cada movimento de subir e descer da corda é gerado um pulso. Se houver uma sucessão de pulsos iguais dizemos que foi gerada uma onda periódica. As ondas que somente se propagam em um meio material, são chamadas de ondas mecânicas como no exemplo da corda. As ondas eletromagnéticas se propagam em meios materiais e no vácuo. No caso delas o que oscila são cargas elétricas, pois o movimento do campo elétrico geram um campo magnético perpendicular formando uma onda eletromagnética. Uma onda é caracterizada principalmente:

- pela distância percorrida pela onda entre dois momentos sucessivos iguais de uma oscilação, que é chamada de **comprimento de onda** (representado pela letra grega lambda λ). As unidades mais usadas para ondas visíveis são o nanômetro (nm) = 10^{-9} m ou o Angstrom (\AA) = 10^{-10} m;
- pelo número de oscilações que ela executa por unidade de tempo, o que chamamos de **frequência (f)**, no S.I. a unidade é o Hertz (Hz) onde um Hertz é igual a $\frac{1}{s}$. Estas duas grandezas se relacionam de acordo com a equação a seguir:

$$v = \lambda \cdot f$$

Figura 02



Onde v é a velocidade de propagação da onda em um meio. A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no ar é aproximadamente igual a do vácuo 3×10^8 m/s. Note que a fórmula expressa de forma simplificada o que é percebido na natureza.

Outra característica importante é o **período (T)**, que representa o tempo que a onda gasta para completar um ciclo, ou seja, o tempo gasto desde a ida até o ponto máximo, depois até o mínimo e o retorno a posição de equilíbrio (linhas pontilhadas vermelhas da *Figura 02*). O período é o inverso da frequência ($T = \frac{1}{f}$). Na *Figura 02*, vemos que cada ponto mais alto da onda se chama crista, e cada ponto mais baixo é chamado de vale. O λ pode ser facilmente medido como a distância entre duas cristas ou dois vales. A fórmula $v = \lambda \cdot f$ surge da seguinte situação: Imagine um observador que vê a crista de uma onda se deslocar no intervalo de tempo T , uma distância λ com velocidade constante c ... Assim podemos calcular está velocidade como $c = \frac{\lambda}{T}$, como $T = \frac{1}{f}$ teremos então $c = \lambda \cdot f$.

APÊNDICE F Cartões para aplicação do Método JigSaw : Aula 02

Tema 01 – COMPOSIÇÃO DE IMAGENS EM RGB

RGB é a abreviatura do sistema de cores aditivas, ou seja que soma a luz, sobreposto-a. Este sistema é formado pelas cores vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue). O propósito principal do sistema RGB é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos como monitores de TV e computador, retroprojetores, scanners e câmeras digitais. As impressoras coloridas usam outro sistema de cores o CMYK. Nele a mistura de cores é feita de modo subtrativo.

Figura 01

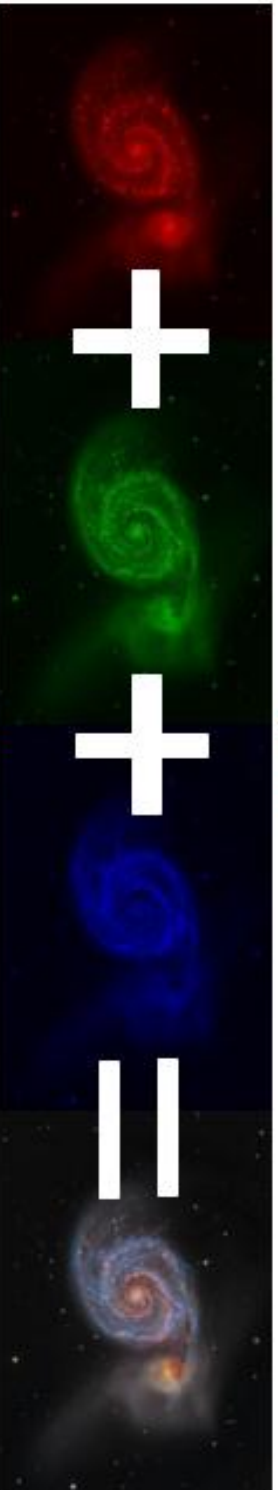
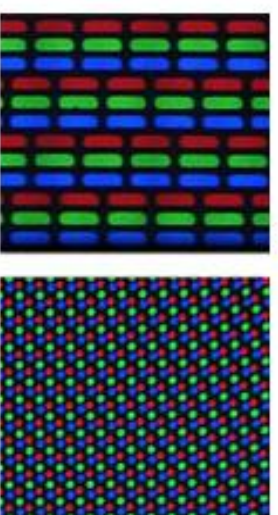


Figura 02

Na *Figura 01* temos a imagens da galáxia M51, decomposta nas cores do sistema RGB. A sobreposição das imagens em vermelho, verde e azul forma a imagem final (*Figura 01* à direita), que foi observada na região visível do espectro eletromagnético.

Para reproduzir todas as cores, as telas dos dispositivos eletrônicos são formadas de minúsculos LEDs (sigla para diodo emissor de luz em inglês) que em grupos de três, nas cores do sistema RGB, formam uma estrutura chamada de pixel (*Figura 02*).

Acesos em diferentes intensidades a luz emitida por estes pixels é capaz de compor todas as cores em telas de dispositivos eletrônicos. Quanto maior o número e menor o tamanho dos pixels em um monitor, melhor será a resolução das cores e melhor será a imagem vista nele.



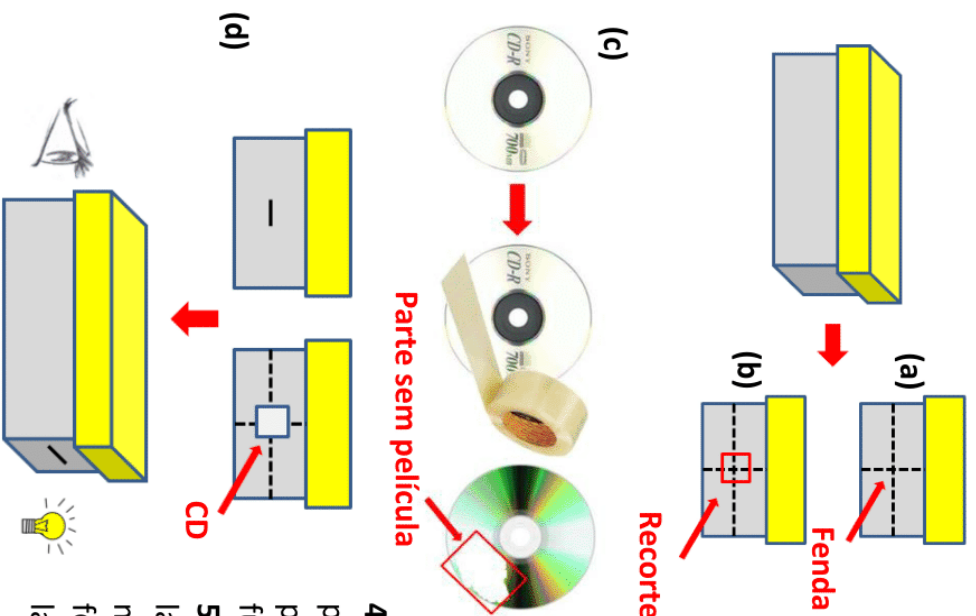
Tema 02 – CONSTRUINDO UM ESPECTROSCÓPIO

MATERIAIS:

Caixa de sapatos; estilete; CD (pode ser usado); lápis; fita adesiva larga; régua; tesoura.

CONSTRUÇÃO:

- 1)** Meça a altura e a largura de um dos lados mais estreitos da caixa. Risque uma linha horizontal e vertical que passe exatamente no centro da lateral escolhida como na figura (a). Repita este procedimento na outra lateral estreita da caixa;
- 2)** Em uma das laterais riscadas faça um corte horizontal (fenda) o mais preciso possível, de aproximadamente 3 cm no centro caixa (partindo do centro, 1,5 cm para cada lado).
- 3)** Na outra lateral riscada, com o auxílio do estilete faça um quadrado de aproximadamente 3 x 3 cm no centro da caixa (b);
- 4)** Cole pedaços da fita adesiva na parte do rótulo do CD, e em seguida puxe-os para arrancar a película do CD (c); Recorte, com a tesoura um pedaço de CD sem a película de aproximadamente 4x4 cm. Este funcionará como rede de difração, decompondo a luz que incide nele;
- 5)** Por fim, fixe o pedaço do CD na frente do recorte quadrado feito na lateral da caixa (d). Tenha o cuidado de posicionar as ranhuras do CD na mesma direção da fenda. Para observar espectros basta posicionar a fenda horizontal da direção de uma fonte luminosa e observar pelo outro lado, onde está o pedaço de CD.



Tema 03 – A EQUAÇÃO DA RETA E SEU SIGNIFICADO PRÁTICO

Podemos verificar como duas grandezas se relacionam construindo um gráfico onde cada grandeza está representada em um dos eixos. Vamos supor que estas duas grandezas sejam a velocidade (v) e a distância de um objeto (d), teremos então um gráfico $v \times d$. Se plotarmos em um gráfico os valores de velocidade e distância em dois momentos (v_0 e v) e (d_0 e d) para um movimento uniforme teremos uma reta, como na *Figura 01*. Para obter uma equação da reta genérica, chamaremos os valores do eixo horizontal de x e do eixo vertical de y . A equação da reta pode então ser representada assim:

$$\tan \theta = \frac{y - y_0}{x - x_0} \quad \rightarrow \quad \tan \theta \cdot (x - x_0) = (y - y_0) \quad \rightarrow \quad \tan \theta \cdot x - \tan \theta \cdot x_0 = y - y_0$$

Chamando $a = \tan \theta$ e $b = -\tan \theta \cdot x_0 + y_0$ chegamos à conhecida equação da reta:

$$y = a \cdot x + b$$

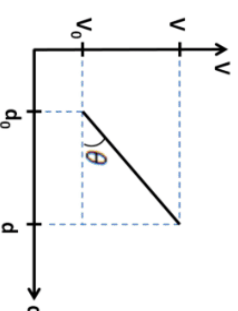
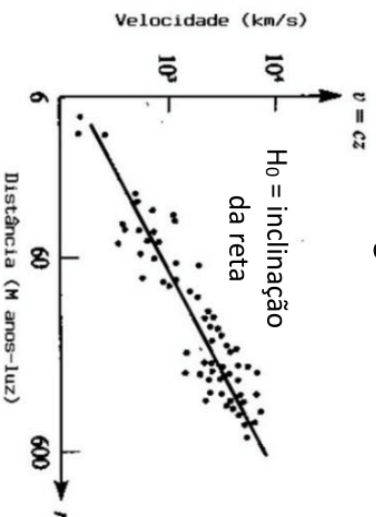


Figura 01

- a é o coeficiente angular da reta. Ele representa a inclinação da reta.
- b é o coeficiente linear da reta. Este é o valor de y quando x é igual a zero, ou seja, quando a reta toca no eixo vertical.

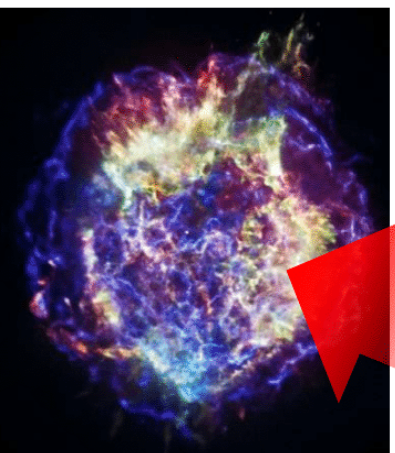
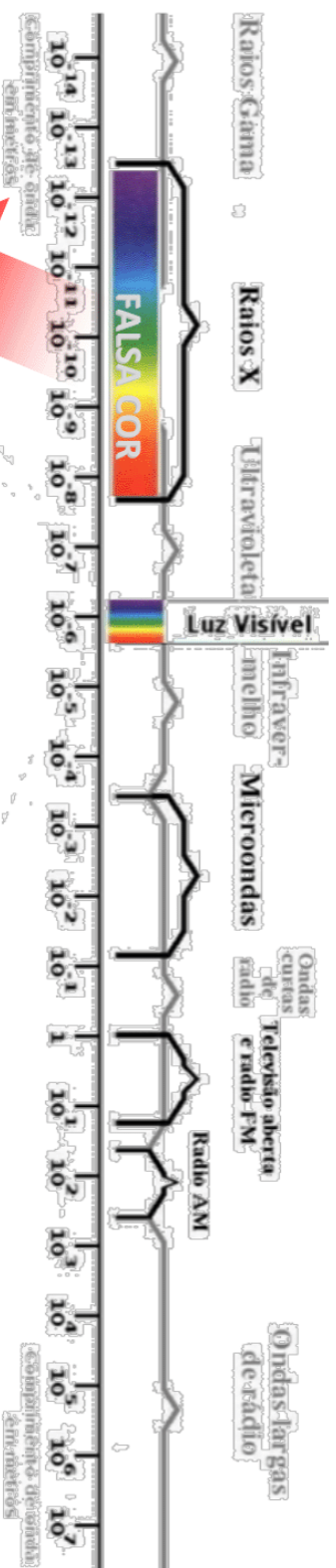
Figura 02



Em ciência as grandezas podem apresentar diferentes relações de proporcionalidade entre si, e a equação da reta auxilia na descoberta experimental das constantes envolvidas nesta proporcionalidade. Por exemplo, Edwin Hubble colocou em um gráfico dados da distância de galáxias e suas velocidades de afastamento em relação à Terra e percebeu que os pontos se distribuíam ao longo de uma linha reta (*Figura 02*). O coeficiente angular desta reta foi chamado de constante de Hubble (H_0). Em 1929, Hubble publicou sua descoberta, que ficou conhecida como Lei de Hubble. Da Lei de Hubble somos levados a concluir que todos os objetos do Universo estão se afastando entre si, de modo que o Universo como um todo estaria se expandindo. A constante de Hubble H_0 representa a taxa com a qual o Universo está se expandindo.

Tema 04 – IMAGENS DE FALSA COR: UM BELO ARTIFÍCIO DA CIÊNCIA.

Tudo o que enxergamos é efeito da informação luminosa que passa pelo nosso sistema ocular e é transformado em sinal nervoso para ser interpretado pelo nosso cérebro. Mas como já vimos, a luz visível é uma onda eletromagnética, e somos capazes de enxergar apenas uma pequena parte de todo o espectro eletromagnético chamada de região da luz visível. Existem muitos tipos de radiação na natureza que não somos capazes de ver, como por exemplo as microondas, o infravermelho e os raios X. Na figura abaixo vemos o espectro eletromagnético em escala com relação ao comprimento de onda da radiação.



Fonte: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/casa.jpg>

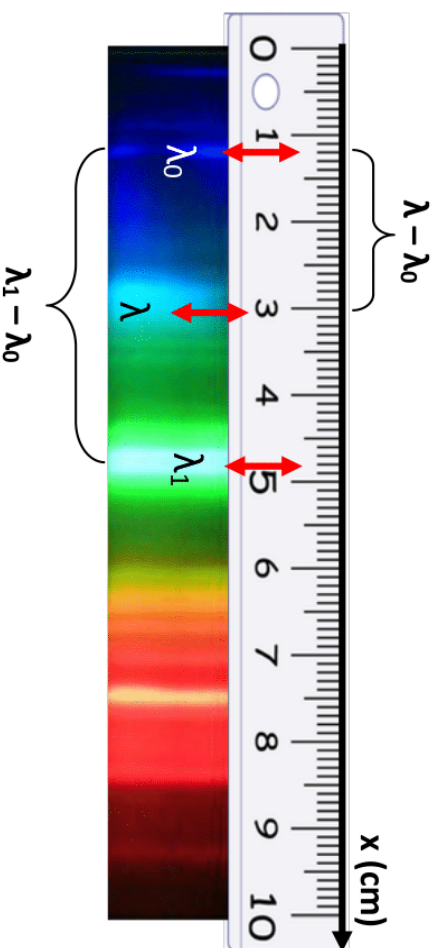
Muitas fotografias astronômicas são feitas com dispositivos capazes de “enxergar” radiações diferentes da visível. Mas então como podemos ver estas imagens? O que se faz é usar uma escala de cores da escala visível para “substituir” na representação da imagem, radiações em faixas que não são ópticamente visíveis. Na figura ao lado vemos a supernova Cassiopeia, uma estrela muito massiva que explodiu. A explosão emitiu uma luz tão energética (frequência alta e comprimento de onda pequeno) que está na faixa dos raios X. Os astrônomos então criam uma escala de cores, atribuindo cores com menor frequência, como o vermelho, aos raios X com menor frequência, e cores de maior frequência, como o azul, aos raios X de maior frequência, enquanto que para frequências intermediárias é usado o tom verde, compondo uma imagem RGB, que não são as cores reais da imagem, mas cores representativas da energia da fonte. Por isso ela é chamada de escala de falsa cor e a imagem com esta escala é uma imagem de falsa cor.

Tema 05 – ESCALAS DIFERENTES PRA MEDIR A MESMA COISA?

Quando desejamos usar escalas diferentes pra medir a mesma coisa, usamos duas propriedades matemáticas: razão e proporção.

- A **razão** é usada para fazer comparações entre duas unidades de uma mesma grandeza. Quando dividimos uma unidade pela outra estamos comparando a primeira em relação a segunda.
- **Proporção** é a igualdade entre duas razões.

Para estabelecermos uma correspondência entre uma escala medida em centrímetros e uma escala medida em nanômetros ($\text{nm} = 10^{-9} \text{m}$), por exemplo, devemos estudar a **proporção** entre suas medidas, ou seja, a **igualdade entre as razões das duas unidades**. Havendo uma correspondência única entre cada um dos tipos de medida pode-se encontrar uma relação entre um tipo de medida e o outro, lembrando que as grandezas devem ser proporcionais. Ou seja a diferença de duas medidas numa grandeza, dividida pela diferença de duas medidas na outra grandeza deve ser uma constante, a própria escala. Observe o exemplo a seguir:



$$\frac{\lambda - \lambda_0}{x - x_0} = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{x_1 - x_0} = \text{Escala}$$

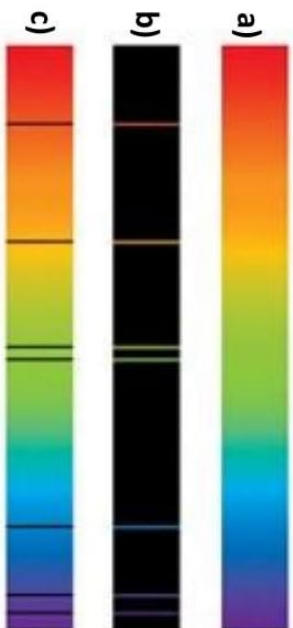
constante

Com este procedimento estabelecemos uma relação entre uma escala fácil de medir, como a de centímetros, e outra não facilmente observável, como a de comprimento de onda. Esta relação resume o procedimento básico da calibração em comprimento de onda de um espectro.

APÊNDICE G Cartões para aplicação do Método Jigsaw: Aula 03

Tema 01–LINHAS ESPECTRAIS E SEU SIGNIFICADO

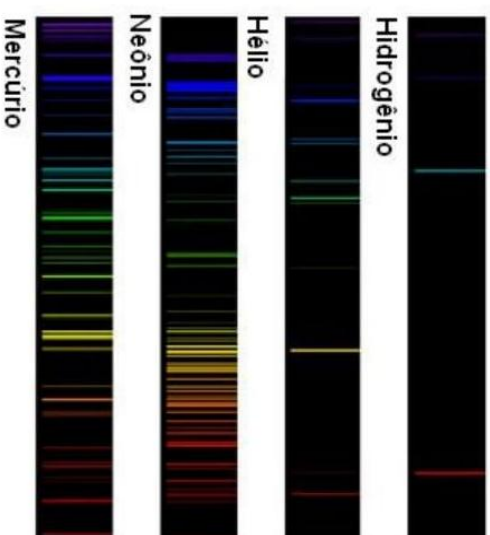
Figura 01



Fonte: <http://www.apolo11.com/espectro.php>

Quando a luz de uma vela ou de uma lâmpada incandescente atravessa um prisma ou uma rede de difração (como o CD), observamos a formação de um espectro contínuo como na *Figura 01(a)*. Se observarmos o espectro emitido por um gás aquecido, veremos um espectro de emissão *Figura 01(b)*, e se a luz emitida por um corpo opaco e quente (ex.: filamento de uma lâmpada incandescente) atravessar um gás com menor temperatura, esta luz produzirá um espectro de absorção *Figura 01(c)*. Grosso modo, estas são conhecidas como as leis espectrais de Kirchhoff.

Figura 02

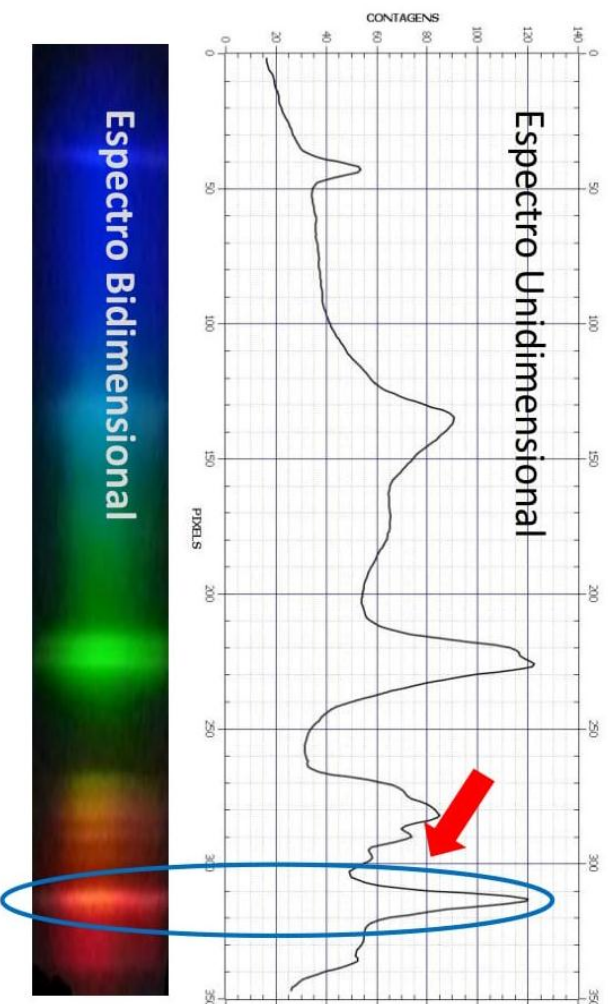


Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/espectros-emissao-absorcao-leis-kirchhoff.htm>

As linhas que vemos nos espectros de absorção e de emissão sejam elas escuras ou brilhantes são chamadas de **linhas** ou **raias espectrais**. Estas raia são únicas para cada elemento químico e tem haver com a liberação e absorção de energia luminosa pelos elétrons que compõem este elemento. No caso do espectro de absorção, significa que a substância absorveu certas frequências da radiação incidente, já no caso do espectro de emissão, significa que o gás aquecido teve elétrons que foram excitados, mas retornam aos estados de menor energia, emitindo a radiação que haviam absorvido que se revela na forma de linhas de emissão espectral.

A descoberta de que cada substância tem seu espectro característico, onde as raia espectrais são como a impressão digital dos átomos, revolucionou a ciência no século XIX, possibilitando o conhecimento da composição química de corpos celestes a partir da luz que eles emitem! Veja na *Figura 02* espectros de diferentes átomos.

Tema 02 - ESPECTROS BIDIMENSIONAIS E UNIDIMENSIONAIS: O QUÊ É ISSO?



Estes nomes, apesar de parecerem estranhos ao falarmos de espectros, são formas distintas de apresentação de um espectro registrado como em uma fotografia. Ou seja, um certo espectro qualquer pode ser representado em uma ou duas dimensões.

Veja a figura ao lado. Ela mostrar acima o **espectro unidimensional (1D)** e abaixo a

versão bidimensional (2D) do espectro de uma lâmpada fluorescente. A parte de cima da figura é um gráfico (1D) extraído do espectro fotografado (parte de baixo da figura), indicando no eixo horizontal a posição de cada cor e no eixo vertical a intensidade luminosa somada de cada uma das cores.

O **espectro bidimensional** é chamado assim porque corresponde a uma fotografia (que tem duas dimensões) da luz que foi separada em suas cores constituintes. Em alguns espectros aparecem linhas brilhantes que são resultantes de uma maior emissão naquelas cores e que caracterizam o material constituinte que está emitindo a luz. Além disso as cores representam uma escala que nos diz se a luz tem maior ou menor frequência.

Tema 03 – ESPECTROSCOPIA E O UNIVERSO EM EXPANSÃO

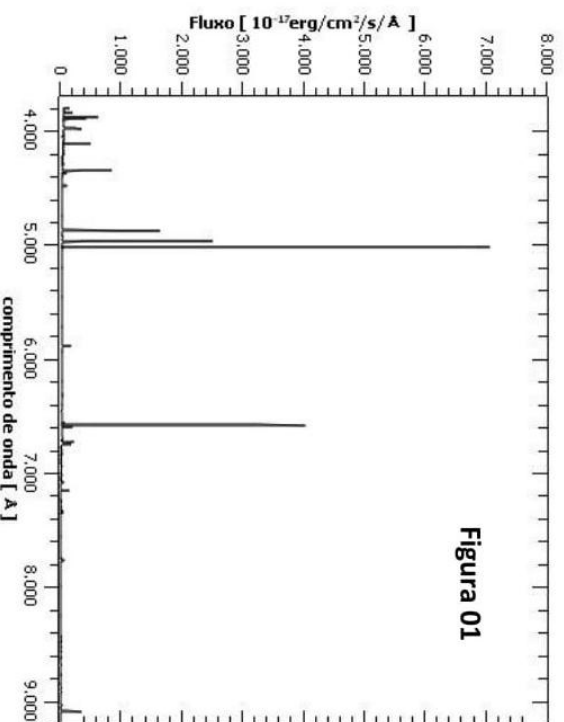


Figura 01

Quando decomponemos a luz de uma fonte luminosa como por exemplo uma estrela, obtemos o seu espectro luminoso. As galáxias são um grande conjunto de estrelas, gás e poeira e também produzem espectros. O espectro da *Figura 01* é da galáxia NGC 3319.

Hubble observou o espectro de um grande número de galáxias e percebeu que todas as linha espectrais apresentavam um deslocamento na sua posição no espectro em relação às mesmas linhas quando a fonte é observada em repouso na Terra. Hubble mediu diferenças próprias no comprimento de onda ($\Delta\lambda$) para cada uma das galáxias observadas por ele e percebeu a existência de um deslocamento Doppler para cada uma delas, de modo análogo ao efeito Doppler sonoro. A grande maioria dos espectros

apresentava deslocamentos para

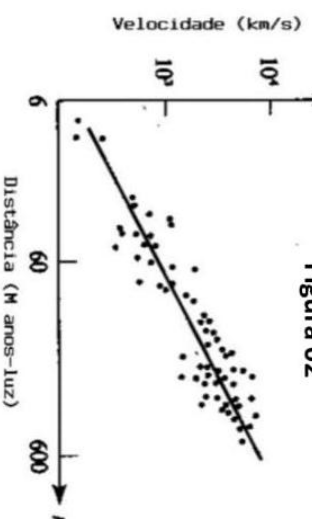
Figura 03



maiores comprimentos de onda (que no óptico é para região do vermelho). Hubble conhecia a distância das galáxias, das quais determinou a velocidade de afastamento. A grande ideia de Hubble foi construir um gráfico da velocidade de afastamento versus a

$$v = cz$$

Figura 02



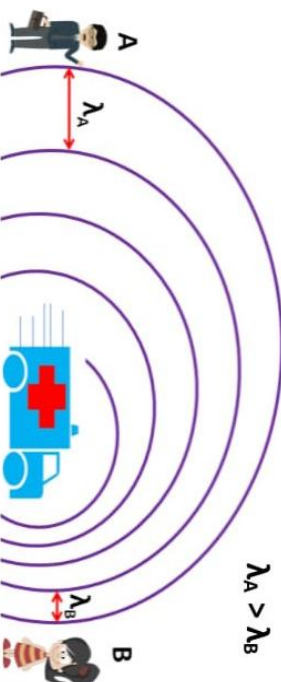
distância da galáxia (*Figura 02*). Ele percebeu que estas duas grandezas se relacionavam de maneira linear sendo que quanto maior a distância da galáxia, maior era sua velocidade de afastamento em relação à nós.

Isto não significa que as coisas se afastam apenas de “nós” aqui na Terra. O que Hubble constatou é que o Universo como um todo está se expandindo, e todas as galáxias estão se afastando umas das outras em todas as direções como no exemplo da *Figura 03*.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~tatiana/ead/expandao-universo.htm>

Tema 04 – EFEITO DOPPLER

Figura 01



fonte sonora possui uma velocidade (v) em relação ao ouvinte (no caso, você). Essa variação no som que ouvimos, causada pelo movimento da fonte é chamada **Efeito Doppler**. Na *Figura 01* vemos um exemplo do efeito Doppler. O observador A ouve o som da sirene mais grave pois o comprimento de onda que ele recebe é maior (foi “esticada” pelo efeito da velocidade). O observador B percebe um som mais agudo (comprimento de onda menor) pois como a fonte se aproxima dele a onda é comprimida pelo efeito da velocidade.

Devemos lembrar que nesta situação imaginária estamos falando de som, que é uma onda mecânica que se propaga no ar. **O efeito Doppler ocorre também com ondas eletromagnéticas**. É possível medir a velocidade de deslocamento da fonte emissora da onda através da seguinte equação:

$$v = c \cdot \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

onde $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ logo, podemos usar

$$v = c \cdot z$$

- A letra z representa o desvio que o comprimento de onda sofreu.
- Se z for POSITIVO o objeto está se AFASTANDO do observador. Nesse caso a onda sofre um aumento no seu tamanho, chamado de **Redshift** (desvio para o vermelho). Na parte superior da *Figura 02* a estrela está se afastando.
- Se z for NEGATIVO o objeto está se APROXIMANDO do observador. Nesse caso a onda sofre uma diminuição no seu tamanho, chamado de **Blueshift** (desvio para o azul). Na parte superior da *Figura 02* a estrela está se aproximando.

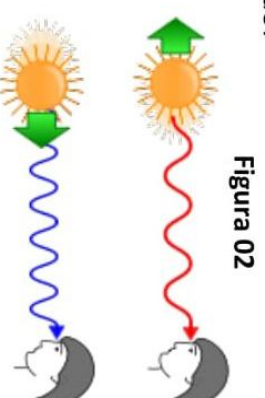


Figura 02

Tema 05 – A IDADE DO UNIVERSO

Como a luz é uma onda eletromagnética, caso a fonte emissora esteja em movimento de afastamento ou de aproximação em relação a nós, a luz dessa fonte também sofre o efeito Doppler, como é o caso da luz emitida por estrelas individuais ou por galáxias inteiras.



Para conhecer a velocidade das galáxias, são usados espectros de calibração, ou seja espectros de elementos químicos obtidos em laboratório em uma situação em que não há velocidade relativa entre o observador e a fonte de luz. Neste tipo de medida obtém-se o que se chama de comprimento de onda de repouso. Hoje todo este processo é feito em computadores mas antigamente os espectros eram observado em chapas fotográficas e as lâmpadas de

calibração sensibilizavam a mesma chapa fotográfica acima ou abaixo da luz do objetos celeste observado, como na figura acima.

Hubble, ao analisar a distância e a velocidade de galáxias, supôs que o Universo se expande de maneira constante e deduziu a taxa de expansão, chamada de constante de Hubble. Veja abaixo seus valores.

- constante de Hubble (H_0) $\approx 22,65 \cdot 10^{-19} \text{ s}^{-1}$ ou em km/s/Mpc (unidade mais usada em Astronomia)

$H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$.

A equação de Hubble é $v = H_0 \cdot D$. Se considerarmos uma velocidade de expansão constante, podemos utilizar a expressão para movimento uniforme, considerando que no tempo Δt o universo cresceu um raio D , de modo que $v = \frac{D}{\Delta t}$. Igualando as duas, temos:

$$\frac{H_0 \cdot D}{1} = \frac{D}{\Delta t}, \text{ cancelando o termo } D, \text{ chegamos à equação}$$

$$H_0 = \frac{1}{\Delta t}$$

Agora você pode calcular, e

descobrir a idade estimada do Universo. Basta substituir o valor de H_0 em segundos e achar o valor do Δt .

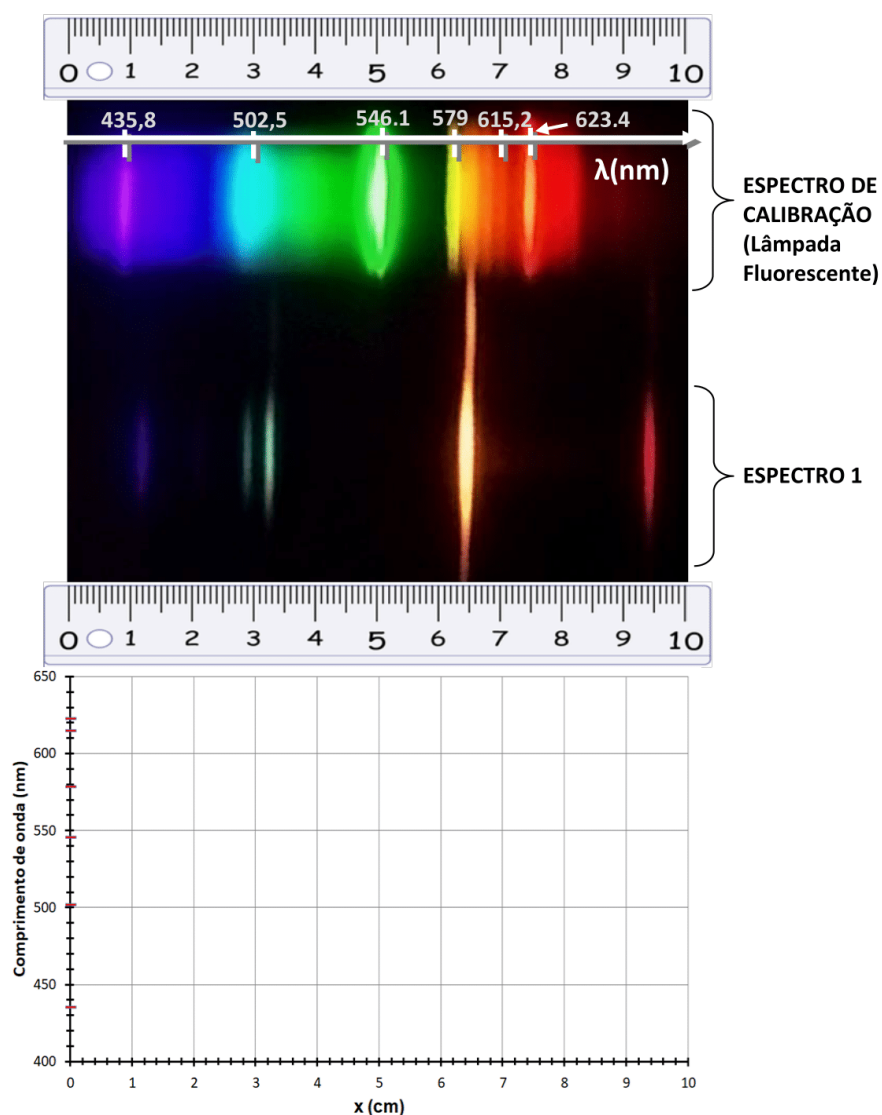
A idade do universo está estimada em 13,7 Bilhões de anos. Confere com o valor que você achou? Lembre-se que cada ano tem $3,15 \cdot 10^7$ segundos!

APÊNDICE H Atividade: Calibração manual de espectros caseiros

ATIVIDADE: CALIBRAÇÃO DE ESPECTROS

Conhecendo pontos de referência entre escalas diferentes de duas grandezas iguais e usando a regra de proporcionalidade podemos obter uma relação de equivalência entre elas. A partir desta relação, torna-se possível descobrir qualquer outro valor dentro das duas escalas.

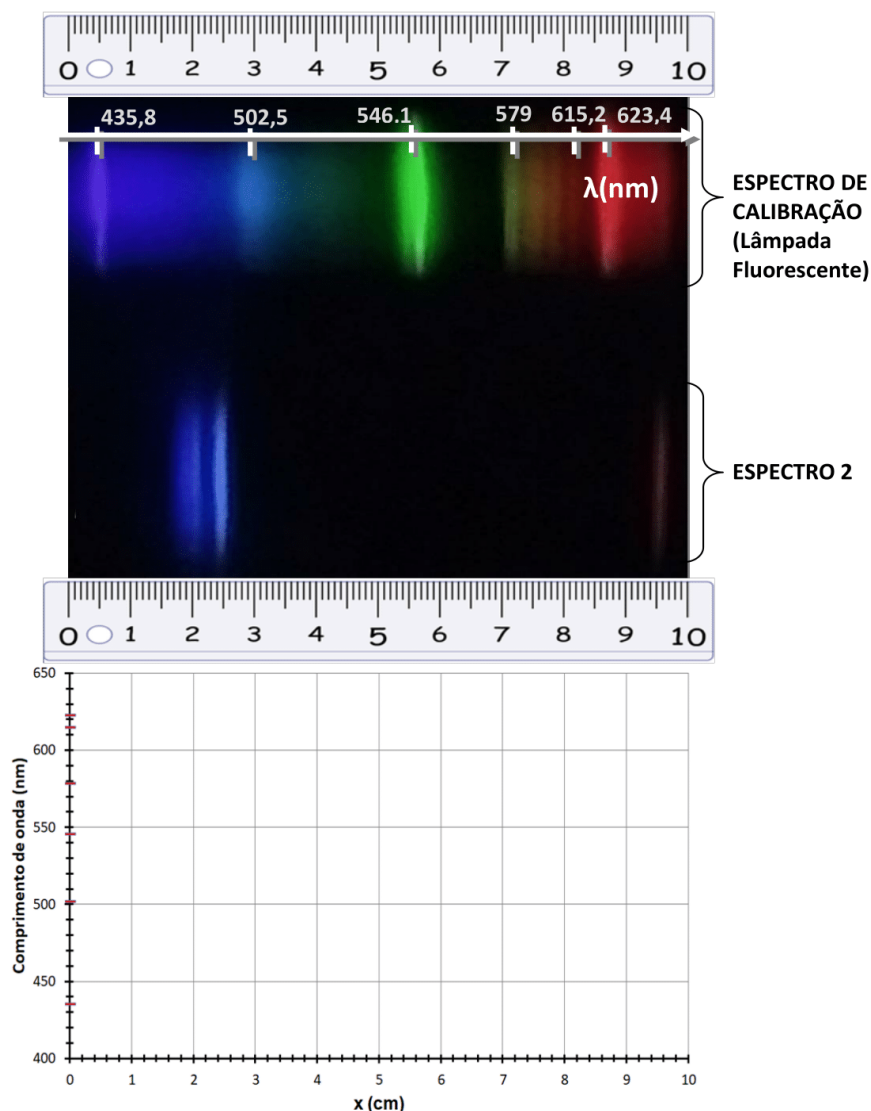
Os astrônomos usam este tipo de relação para calibrar espectros de luz a partir de um espectro de referência, para então descobrir quais comprimentos de onda aparecem no espectro uma dada fonte astronômica observada, possibilitando a descoberta dos elementos químicos presentes nela. Neste exercício foi usada para a calibração uma lâmpada fluorescente, na qual usamos como referência as linhas emitidas pelo vapor de mercúrio presente neste tipo de lâmpada.



ATIVIDADE: CALIBRAÇÃO DE ESPECTROS

Conhecendo pontos de referência entre escalas diferentes de duas grandezas iguais e usando a regra de proporcionalidade podemos obter uma relação de equivalência entre elas. A partir desta relação, torna-se possível descobrir qualquer outro valor dentro das duas escalas.

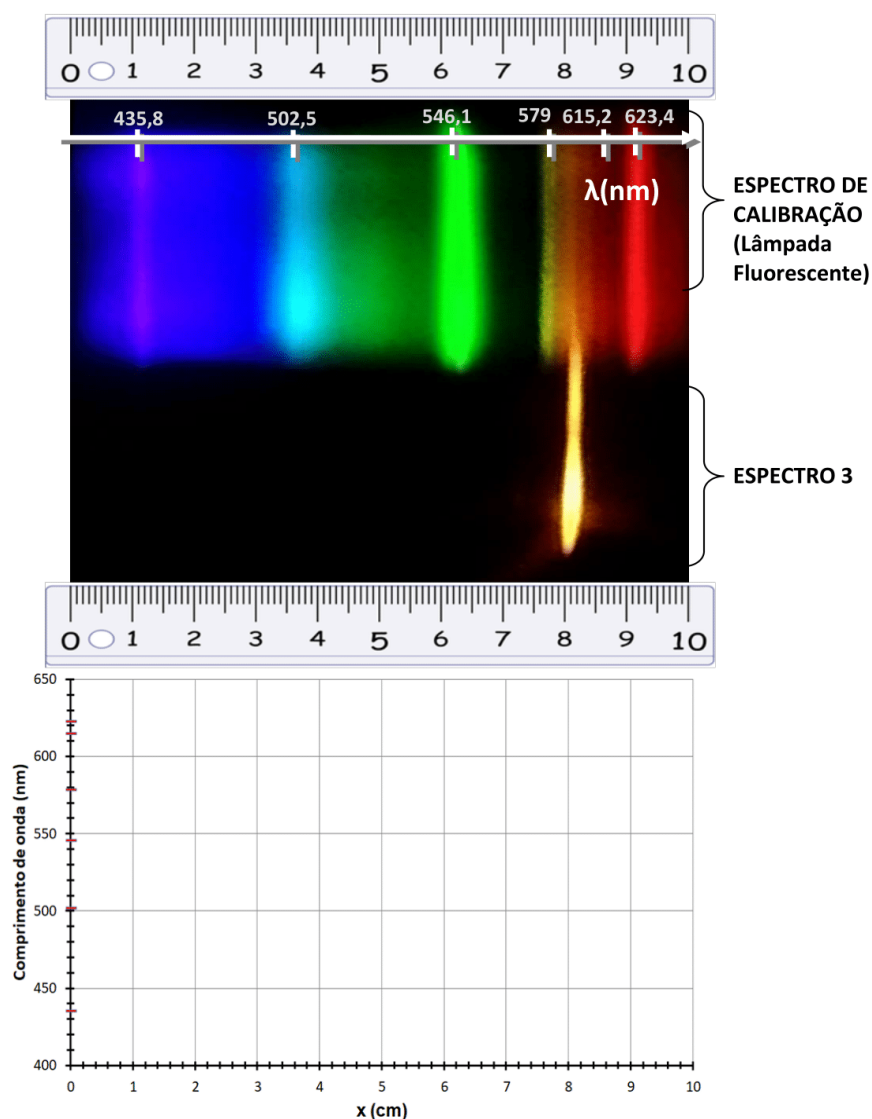
Os astrônomos usam este tipo de relação para calibrar espectros de luz a partir de um espectro de referência, para então descobrir quais comprimentos de onda aparecem no espectro uma dada fonte astronômica observada, possibilitando a descoberta dos elementos químicos presentes nela. Neste exercício foi usada para a calibração uma lâmpada fluorescente, na qual usamos como referência as linhas emitidas pelo vapor de mercúrio presente neste tipo de lâmpada.



ATIVIDADE: CALIBRAÇÃO DE ESPECTROS

Conhecendo pontos de referência entre escalas diferentes de duas grandezas iguais e usando a regra de proporcionalidade podemos obter uma relação de equivalência entre elas. A partir desta relação, torna-se possível descobrir qualquer outro valor dentro das duas escalas.

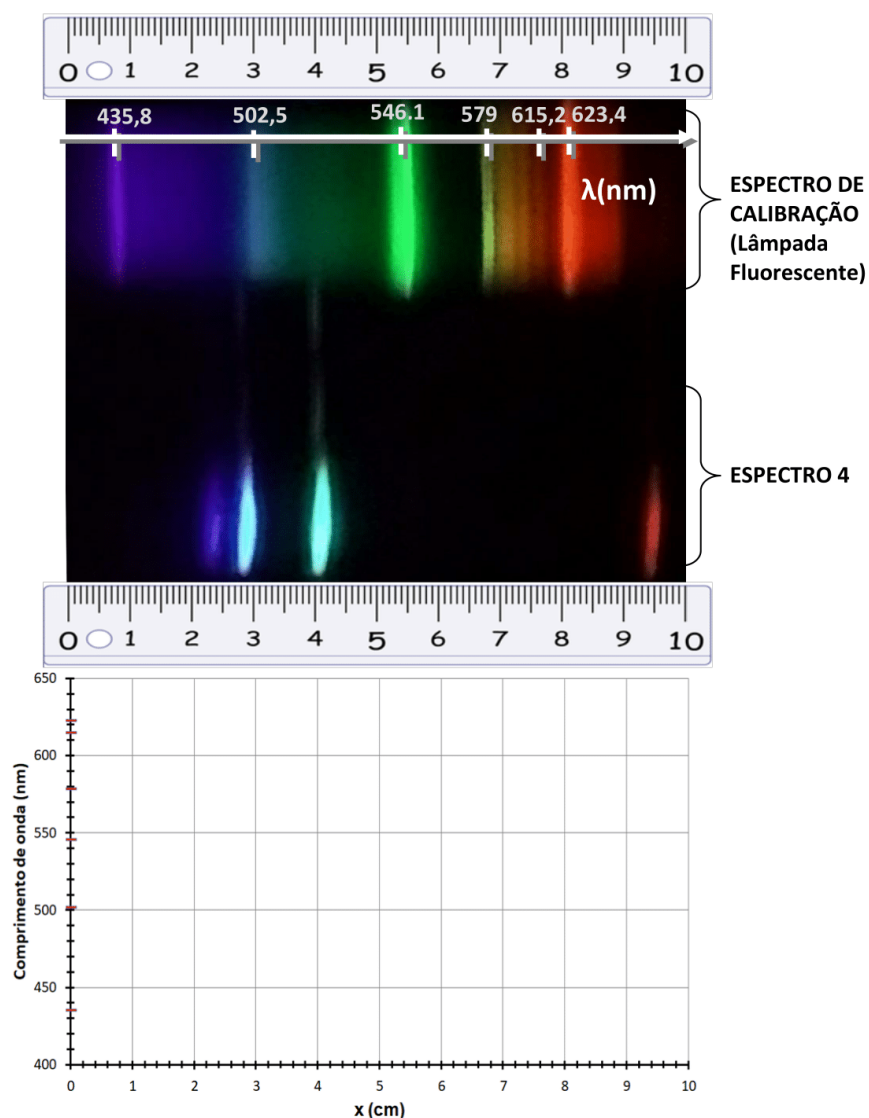
Os astrônomos usam este tipo de relação para calibrar espectros de luz a partir de um espectro de referência, para então descobrir quais comprimentos de onda aparecem no espectro uma dada fonte astronômica observada, possibilitando a descoberta dos elementos químicos presentes nela. Neste exercício foi usada para a calibração uma lâmpada fluorescente, na qual usamos como referência as linhas emitidas pelo vapor de mercúrio presente neste tipo de lâmpada.



ATIVIDADE: CALIBRAÇÃO DE ESPECTROS

Conhecendo pontos de referência entre escalas diferentes de duas grandezas iguais e usando a regra de proporcionalidade podemos obter uma relação de equivalência entre elas. A partir desta relação, torna-se possível descobrir qualquer outro valor dentro das duas escalas.

Os astrônomos usam este tipo de relação para calibrar espectros de luz a partir de um espectro de referência, para então descobrir quais comprimentos de onda aparecem no espectro uma dada fonte astronômica observada, possibilitando a descoberta dos elementos químicos presentes nela. Neste exercício foi usada para a calibração uma lâmpada fluorescente, na qual usamos como referência as linhas emitidas pelo vapor de mercúrio presente neste tipo de lâmpada.



9. Usando os conhecimentos adquiridos sobre razão e proporção e considerando que o ajuste da reta que foi feito anteriormente é linear, descubra quais os valores aproximados dos comprimentos de onda do espectro que você está calibrando.

OBS.: Para isso faça a calibração dos espectros usando como referência o espectro da lâmpada fluorescente que já possui a posição de linhas brilhantes do mercúrio demarcadas. Utilize a correspondência (proporção) encontrada entre a escala em centímetros e a escala em nanômetros para determinar o comprimento de onda das linhas no espectro que você está calibrando.

10. Utilize o gabarito das linhas espectrais (peça ao professor) e veja de qual elemento químico você fez a calibração.
11. Compare os valores obtidos através da calibração com os valores obtidos usando a relação de razão e proporção. Qual forma de medida se aproxima mais dos valores reais das linhas do espectro que você calibrou?

APÊNDICE I Gabarito das linhas espectrais da atividade do APÊNDICE H

Elemento Químico	Sódio (Na)	Zinco (Zn)	Cádmio (Cd)	Hélio (He)
Comprimento de onda (λ) das linhas visíveis nos espectros da atividade (nm)	588,99* 589,59*	472,21 481,05 636,23	447,1 492,1 587,5 643,84	447,1 492,1 501,5 587,5 667,8

* O que aparece na figura é um dubleto, mas a foto não possui resolução suficiente pra enxergarmos ele, o vemos como uma linha só.

APÊNDICE J Procedimentos para obtenção do gabarito das linhas espectrais usando dados do NIST

Ao abrir a página web descrita em (NIST, 2017) nos deparamos com a interface do banco de dados de espectros atômicos “*Atomic Spectra Database*” visível na *Figura J-1*. Inserimos o nome do átomo que queremos buscar no retângulo vermelho em que está escrito “*Spectrum*” e no nosso caso, inserimos o número um (em algarismos romanos) para refinar a busca restringindo o tipo de transição eletrônica que gera a linha espectral (Ex.: Na I). Inserimos também, na opção “Inferior” (*Lower*) e “Superior” (*Upper*), em destaque no retângulo vermelho inferior da *Figura J-1*, os número 400 e 700 respectivamente, que são os limites dos comprimentos de onda visíveis. Para refinar ainda mais a busca, clicamos em “*Show Advanced Settings*” e chegaremos a uma página com uma série de possibilidades para filtrar a busca pelas linhas espectrais. Usamos dois campos de pesquisa avançada: o primeiro foi o selecionar o botão “Apenas com probabilidade de transição” (*Only with transition probabilities*) destacado na *Figura J-2*. O outro campo de pesquisa que usamos foi o do “valor mínimo de intensidade relativa” (*Relative intensity minimum*) em destaque na *Figura J-3*.

Figura J-1: A: Interface do banco de dados de espectros atômico do NIST. Os retângulos vermelhos em destaque são o campo de busca do elemento químico e um campo que restringe os limites dos comprimentos de onda.

Figura J-2: Restringimos o número de linhas espectrais selecionado a opção “Apenas com probabilidade de transição” destacada em vermelho.

Figura J-3: Campo de preenchimento para um valor mínimo de intensidade relativa desejada.

Accuracy minimum:	<input type="text"/>	(e.g., C+)
Relative intensity minimum:	<input type="text"/>	(e.g., 1.2e-03)

Em poucas palavras, a intensidade relativa de uma linha espectral é a razão entre a intensidade do pico (região com mais contagens de fótons de certo comprimento de onda, portanto mais brilhante) e a contagem da base da linha espectral. Logo linhas com alta intensidade relativa de destacam das outras por serem mais brilhantes e, portanto mais “visíveis” em nosso espectroscópio caseiro.

Para encontramos os valores padronizados das linhas espectrais que enxergamos nos espectros presentes na *Figura 3.13*, nós usamos os dois recursos de pesquisa avançada descritos. No entanto, apenas eles não bastam. É preciso bom senso, para analisar nossos espectros e compará-los com as linhas presentes no resultado da pesquisa no NIST, já que algumas linhas que o NIST aponta, não aparecem em nossos espectros.

No que se refere à nossa pesquisa, o valor da intensidade relativa que nos auxiliou em nossa busca foi descoberto por aproximações. Contamos quantas linhas brilhantes tinha o nosso espectro e inserimos uma intensidade relativa de aproximadamente 50 e em seguida clicamos em “*Retrive Data*” para fazer a busca de linhas. Então vamos ajustando um valor de intensidade relativa que forneça um número de linhas próximo ao que observamos no espectro fotografado. O caso do espectro do mercúrio deve ser bem observado, já que existe uma linha em especial, com baixa intensidade relativa em relação à outras apontadas pelo NIST, porém na região onde ela se encontra não há outra possibilidade de linha senão esta ($\lambda = 502,5$ nm). Portanto reforçamos que é preciso bom senso, para analisar corretamente os resultados do NIST através das ferramentas de busca descritas aqui.

APÊNDICE K Atividade: Efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo

QUESTIONÁRIO – EFEITO DOOPLER EM GALÁXIAS

- 1) Os espectros unidimensionais que vocês receberam são de galáxias. Os espectros de calibração são os que possuem os comprimentos de onda de repouso, ou seja, os comprimentos de onda dos elementos, obtidos em um referencial em repouso (velocidade igual a zero) na Terra. A linha mais intensa é a H α e seu comprimento de onda de repouso é 6562,8 Angstroms (Å). A unidade Z representa a medida da velocidade de um objeto em relação a nós (Terra). Se Z for positivo, significa que o objeto (neste caso a galáxia) está se afastando de nós. Se for negativo significa que o objeto está se aproximando.

Sobreponha os dois gráficos que você recebeu (o com comprimento de onda de repouso e o recorte do espectro da galáxia). Alinhe os eixos para que pareçam um só gráfico. O que acontece com os picos dos gráficos? Agora tente alinhar os picos dos espectros de repouso e da galáxia que você recebeu.

Obs.: Será possível observar a variação no através do comprimento de onda através do eixo horizontal.

- a) Qual foi a variação entre o comprimento de onda ($\Delta\lambda$) de repouso do pico mais alto e o comprimento de onda observado na galáxia?
- b) Através da equação $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$, indique o valor de **z** e indique se a galáxia em questão está se afastando ou se aproximando.
- c) Usando o valor para **z** obtido em no item b, e a equação $v = z \cdot c$, determine a velocidade da galáxia. Obs.: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.
- d) Assumindo que a constante de Hubble (H_0) é $22,65 \cdot 10^{-19} \text{ s}^{-1}$, e que o deslocamento da galáxia é devido à expansão do Universo, determine a distância da galáxia usando a Lei de Hubble.
Obs.: $v = H_0 \cdot D$
- e) Usando a constante de Hubble apresentada, e sabendo que cada ano tem $3,15 \cdot 10^7$ segundos, calcule a idade do Universo.
Obs.: $H_0 = \frac{1}{\Delta t}$

APÊNDICE L Gabarito da atividade do APÊNDICE K

NGC 3627

- a) $\Delta\lambda \cong 17 \text{ \AA}$
- b) $Z \cong 0,00259$, a galáxia está se afastando.
- c) $v \cong 777\,000 \text{ m/s}$ ou 777 km/s
- d) $D \cong 34,305 \cdot 10^{22} \text{ m}$
- e) $\Delta t \cong 14 \cdot 10^9$ ou 14 bilhões de anos

NGC 3319

- a) $\Delta\lambda \cong 15 \text{ \AA}$
- b) $Z \cong 0,00228$, a galáxia está se afastando.
- c) $v \cong 685\,683 \text{ m/s}$ ou $685,68 \text{ km/s}$
- d) $D \cong 30,273 \cdot 10^{22} \text{ m}$
- e) $\Delta t \cong 14 \cdot 10^9$ ou 14 bilhões de anos

NGC 3021

- a) $\Delta\lambda \cong 36 \text{ \AA}$
- b) $Z \cong 0,00548$, a galáxia está se afastando.
- c) $v \cong 164\,563 \text{ m/s}$ ou $164,56 \text{ km/s}$
- d) $D \cong 72,655 \cdot 10^{22} \text{ m}$
- e) $\Delta t \cong 14 \cdot 10^9$ ou 14 bilhões de anos

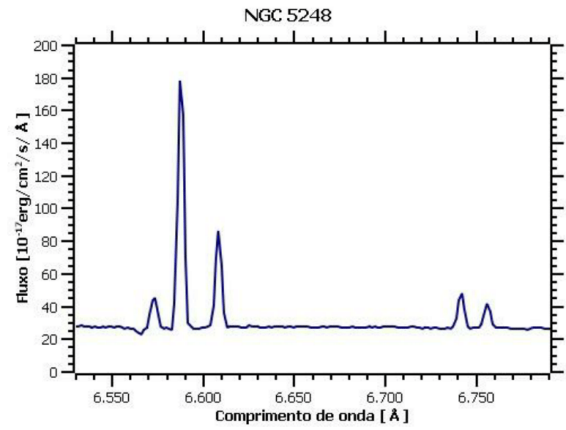
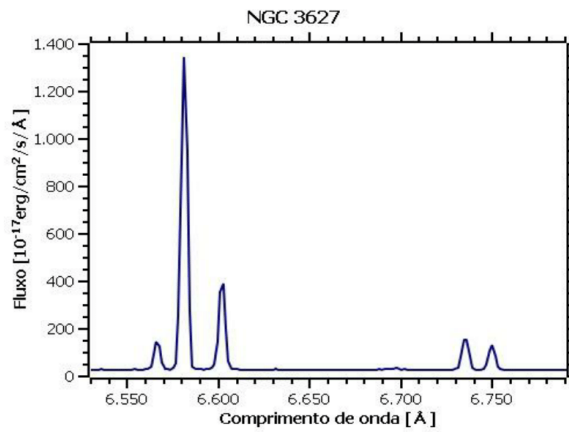
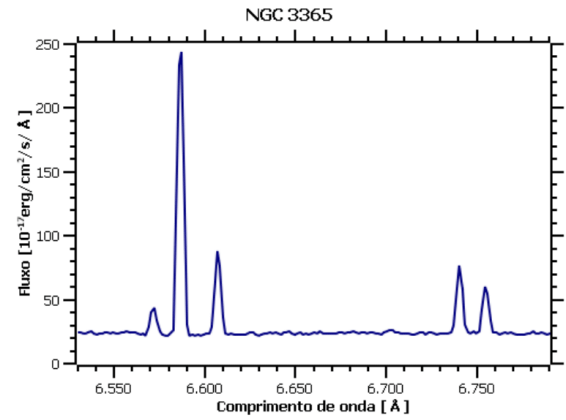
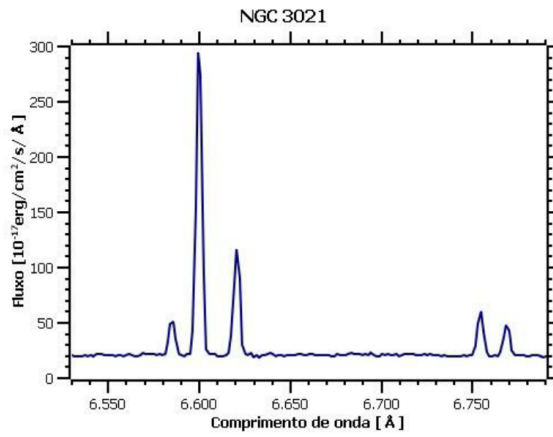
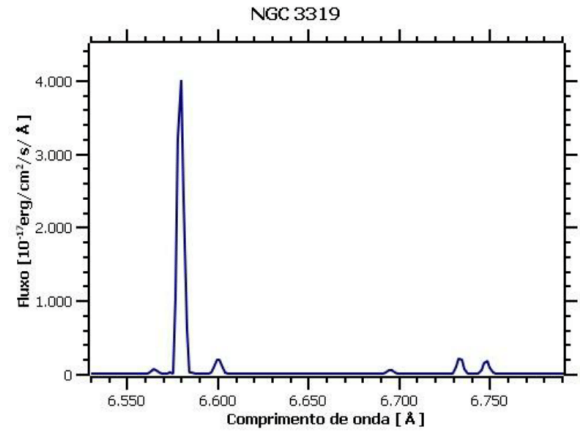
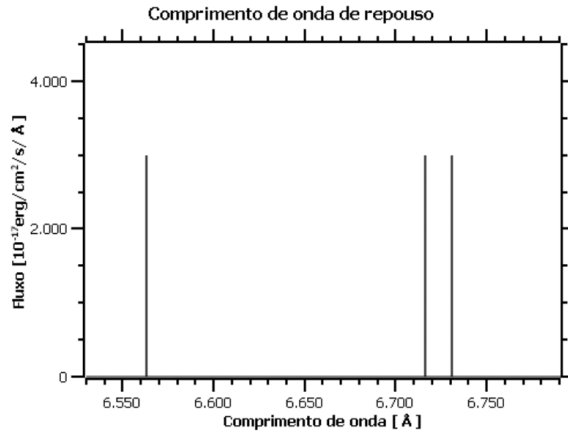
NGC 3365

- a) $\Delta\lambda \cong 22 \text{ \AA}$
- b) $Z \cong 0,00335$, a galáxia está se afastando.
- c) $v \cong 100\,567 \text{ m/s}$ ou $100,56 \text{ km/s}$
- d) $D \cong 44,4 \cdot 10^{22} \text{ m}$
- e) $\Delta t \cong 14 \cdot 10^9$ ou 14 bilhões de anos

NGC 5248

- a) $\Delta\lambda \cong 23 \text{ \AA}$
- b) $Z \cong 0,003505$, a galáxia está se afastando.
- c) $v \cong 105\,138 \text{ m/s}$ ou $105,14 \text{ km/s}$
- d) $D \cong 46,419 \cdot 10^{22} \text{ m}$
- e) $\Delta t \cong 14 \cdot 10^9$ ou 14 bilhões de anos

APÊNDICE M Recortes de espectros de galáxias pra impressão em transparências



APÊNDICE N Tabela para organização dos grupos

GRUPO ____			
FUNÇÃO	SÍMBOLO	NOME	OBSERVAÇÕES
Porta-voz	1 ____		
Mediador	2 ____		
Redator	3 ____		
Relator	4 ____		
Facilitador	5 ____		

GRUPO ____			
FUNÇÃO	SÍMBOLO	NOME	OBSERVAÇÕES
Porta-voz	1 ____		
Mediador	2 ____		
Redator	3 ____		
Relator	4 ____		
Facilitador	5 ____		

GRUPO ____			
FUNÇÃO	SÍMBOLO	NOME	OBSERVAÇÕES
Porta-voz	1 ____		
Mediador	2 ____		
Redator	3 ____		
Relator	4 ____		
Facilitador	5 ____		

APÊNDICE O Sequência Didática

Plano de aula: AULA 01 - O QUE É COR?	
Turma: 2ª ou 3ª Séries Ensino Médio	
TEMA	
• Óptica Física e Geométrica	• Ondulatória
DURAÇÃO	
50 minutos, sendo 5 minutos destinados à acomodação dos alunos em seus lugares.	
OBJETIVO GERAL	
Apresentar uma série de tópicos sobre características ondulatórias da luz, enfatizando a composição de cores e como interagimos com ela para enxergarmos o mundo.	
OBJETIVOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar as características físicas da luz e suas formas de interação com a matéria. • Demonstrar a dependência da cor em relação à luz incidente; • Apresentar o espectro eletromagnético, com destaque à região visível; • Discutir sobre como o humano é capaz de distinguir cores; • Compreender tópicos de ondulatória sobre características de uma onda. 	
CONTEÚDO	
<ul style="list-style-type: none"> • A luz e sua propagação; • Leis da reflexão luminosa; • A cor de um corpo; • Dispersão luminosa e a formação do arco-íris; 	<ul style="list-style-type: none"> • O espectro: luz visível, IV e UV. • Anatomia do olho responsável pela distinção de cores; • Elementos de uma onda periódica.
METODOLOGIA DE ENSINO	
Método de aprendizagem cooperativa Jigsaw.	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Participação ativa nas discussões nos grupos colaborativos • Respostas do questionário avaliativo. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Projetor • Um computador; • Cartões para a aula 01 (APÊNDICE E) impressos; • Atividade avaliativa do APÊNDICE B. 	

Plano de aula: AULA 02- CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO E CALIBRAÇÃO DE ESPECTROS	
Turma: 2ª ou 3ª Séries Ensino Médio	
TEMA	
• Óptica Física	• Ondulatória
DURAÇÃO	
50 minutos, sendo 5 minutos destinados à acomodação dos alunos em seus lugares.	
OBJETIVO GERAL	
Apresentar o uso da composição de cores para formar imagens em telas de aparelhos eletrônicos, o uso de escalas de cores, e como calibrar espectros.	
OBJETIVOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a composição de imagens no sistema RGB de cores; • Apresentar um guia prático para a construção de espectroscópio; • Discutir como é possível usar diferentes escalas para medir uma mesma grandeza e como este artifício é usado pela ciência em imagens de falsa cor; • Apresentar o significado científico da equação da reta; 	
CONTEÚDO	
<ul style="list-style-type: none"> • A composição das cores; • Escalas; • Análise de gráficos. 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
Método de aprendizagem cooperativa JigSaw.	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Participação ativa nas discussões nos grupos colaborativos • Respostas do questionário avaliativo. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Projetor; • Um computador; • Cartões para a aula 02 (APÊNDICE F) impressos; • Atividade avaliativa impressa (APÊNDICE C); • Atividade: Calibração manual de espectros caseiros (APÊNDICE H) impressa. 	

Plano de aula: AULA 03 - A CONSTANTE DE HUBBLE E A IDADE DO UNIVERSO	
Turma: 2ª ou 3ª Séries Ensino Médio	
TEMA :	
• Óptica Física	• Ondulatória
DURAÇÃO	
50 minutos, sendo 5 minutos destinados à acomodação dos alunos em seus lugares.	
OBJETIVO GERAL	
Apresentar propriedades fundamentais sobre a natureza da luz e da cor dos objetos e suas bases matemáticas. Apresentar as bases da argumentação para a Teoria da expansão do Universo.	
OBJETIVOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrar a diferença entre espectros em uma e em duas dimensões. • Discutir sobre tipos de espectros e o que eles dizem sobre o meio pelo qual a luz passou; • Apresentar o espectro eletromagnético, com destaque à região visível; • Conceituar o efeito Doppler; • Apresentar o efeito Doppler em galáxias e porque ele indica que o universo está em expansão. 	
CONTEÚDO	
<ul style="list-style-type: none"> • A equação da reta; • Leis de Kirchhoff (Espectros); • Espectro eletromagnético; • Efeito Doppler; • A lei de Hubble. 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
Método de aprendizagem cooperativa Jigsaw	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Participação ativa nas discussões nos grupos colaborativos • Respostas do questionário avaliativo. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Projetor; • Um computador; • Cartões para a aula 03 (<i>APÊNDICE G</i>) impressos; • Atividade avaliativa impressa (<i>APÊNDICE D</i>); • Atividade: Efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo (<i>APÊNDICE K</i>) impressa; • Transparências “Recortes de espectros de galáxias” (<i>APÊNDICE M</i>) impressas. 	

APÊNDICE P Etapas da Sequência Didática

AULA	ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	TEMPO (aprox.)
Introdução	<ul style="list-style-type: none"> Na aula anterior à aplicação da sequência didática, apresentar o método de aprendizagem Jigsaw aos alunos usando o PowerPoint “Apresentação Jigsaw”. 	15 ± 5 min
Aula pré-sequência didática	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar o pré-teste, com o objetivo de verificar o conhecimento prévio dos alunos. 	50 min
01	<ul style="list-style-type: none"> Mostrar o PowerPoint “Quê cor você vê” disponível em (PEREIRA, 2018)³. Este vídeo serve como elemento motivador dos alunos. Ao mostrar o vídeo o professor deve destacar a subjetividade das cores quando analisadas de maneira qualitativa, a olho nu. O professor deve incentivar os alunos a fazer questionamentos, buscando deixar os alunos curiosos. O professor deve reproduzir os slides de acordo com sua vontade e com o andamento das discussões. 	5 min
	<ul style="list-style-type: none"> Formar os grupos “base”⁴ e distribuir os cartões com os temas da aula. 	5 min
	<ul style="list-style-type: none"> Formar os “grupos de especialistas” pedindo que os alunos com o mesmo tema sentem-se juntos. Distribuir as funções de cada aluno no grupo e tomar nota dos nomes dos alunos. Pedir aos alunos que façam a leitura individual dos seus textos e que depois conversem sobre o que leram e anotem as dúvidas. Durante o processo o professor deve visitar os grupos levantando questionamentos e esclarecendo dúvidas. 	15 ± 2min
	<ul style="list-style-type: none"> Pedir aos alunos que sentem-se de acordo com seu grupo base. Cada aluno deve explicar a sua parte do assunto (lido no cartão) aos seus colegas do grupo base. O professor deve caminhar por entre os grupos para observar se há erros ou entraves ao longo da explicação dos alunos aos seus colegas. Isso não significa que o professor tenha que monitorar com precisão cada grupo, mas sim que esteja 	15 ± 2 min

³ <http://bit.ly/pereira2018>

⁴ Cada grupo base deve possuir preferencialmente cinco alunos, caso isso não seja possível são recomendados grupos de quatro ou seis alunos (ver seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para detalhes).

	atento a observar as explicações.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do questionário avaliativo (<i>APÊNDICE B</i>). • Finalizar a aula com a seguinte dúvida: - Quantas cores são necessárias pra formar as cores nas telas de dispositivos eletrônicos? 	10 ± 3 min
02	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar o PowerPoint “Espectros e escalas de cor” disponível em (PEREIRA, 2018). • Neste momento serão apresentados questionamentos: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Como se formam as cores em telas de dispositivos eletrônicos com monitores e TVs? ✓ Como são formadas as belas e geralmente coloridas fotografias de fontes astronômicas como estrelas, galáxias e nebulosas, que são divulgadas em jornais e blogs de Astronomia? ✓ É comum as pessoas pensarem que estas imagens são obtidas caso olhássemos pela lente de um telescópio. Será que veríamos tantas cores? • O professor deve reproduzir os slides de acordo com sua vontade e com o andamento das discussões. 	5 min
	<ul style="list-style-type: none"> • Formar os grupos “base” e distribuir os cartões com os temas da aula. 	5 min
	<ul style="list-style-type: none"> • Formar os “grupos de especialistas” pedindo que os alunos com o mesmo tema sentem-se juntos. Distribuir as funções de cada aluno no grupo e tomar nota dos nomes dos alunos. • Pedir aos alunos que façam a leitura individual dos seus textos e que depois conversem sobre o que leram e anotem as dúvidas. • Durante o processo o professor deve visitar os grupos levantando questionamentos e esclarecendo dúvidas. • Nesta aula há um grupo de especialistas que ficará responsável pela construção dos espectroscópios. Após a construção dos espectroscópios o aluno que ficou responsável pelo espectroscópio deve explicar aos seus colegas o processo de construção e como usá-lo (usar como fonte luminosa a lâmpada da sala de aula que geralmente é fluorescente, ou fontes disponíveis como uma vela). 	15 ± 2 min
	<ul style="list-style-type: none"> • Pedir aos alunos que sentem-se de acordo com seu grupo base. • Cada aluno deve explicar a sua parte do assunto (lido no cartão) aos seus colegas do grupo base. • O professor deve caminhar por entre os grupos para observar se há erros ou entraves ao longo da explicação dos alunos aos seus colegas. Isso não significa que o professor tenha que monitorar com precisão cada grupo, mas sim que esteja atento a observar as explicações. 	15 ± 2 min
	<ul style="list-style-type: none"> • O professor deve entregar a atividade “Calibração manual de 	—

	espectros caseiros” (<i>APÊNDICE H</i>) para que os alunos façam o exercício em casa mantendo o grupo.	
	<ul style="list-style-type: none"> A atividade do <i>APÊNDICE H</i> pode ser feita em classe em grupo ou individualmente. Uma aula pode ser destinada para maiores explicações sobre a calibração e realização desta atividade. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação do questionário avaliativo (<i>APÊNDICE C</i>). 	10 ± 3 min
	<ul style="list-style-type: none"> Finalizar a aula com as perguntas: Todos os espectros de luz são iguais? Como os astrônomos conseguem saber a composição de planetas distantes? Como eles sabem se existe água? 	—
03	<ul style="list-style-type: none"> Mostrar o PowerPoint “Aglomerado de galáxias” disponível em (PEREIRA, 2018). Este vídeo serve como elemento motivador dos alunos. Neste momento serão apresentados questionamentos: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Qual a idade do universo? Somente os astrônomos podem realizar os cálculos para descobri-la? ✓ Como foi possível dizer que o Universo está em expansão e estimar a sua idade? ✓ Como os cientistas podem dizer quais elementos químicos estão presentes nas estrelas? O professor deve reproduzir os slides de acordo com sua vontade e com o andamento das discussões. 	5 min
	<ul style="list-style-type: none"> Formar os grupos “base” e distribuir os cartões com os temas da aula. 	5 min
	<ul style="list-style-type: none"> Formar os “grupos de especialistas” pedindo que os alunos com o mesmo tema sentem-se juntos. Distribuir as funções de cada aluno no grupo e tomar nota dos nomes dos alunos. Pedir aos alunos que façam a leitura individual dos seus textos e que depois conversem sobre o que leram, e anotem as dúvidas. Durante o processo o professor deve visitar os grupos levantando questionamentos e esclarecendo dúvidas. 	15 ± 2 min
	<ul style="list-style-type: none"> Pedir aos alunos que sentem-se de acordo com seu grupo base. Cada aluno deve explicar a sua parte do assunto (lido no cartão) aos seus colegas do grupo base. O professor deve caminhar por entre os grupos para observar se há erros ou entraves ao longo da explicação dos alunos aos seus colegas. Isso não significa que o professor tenha que monitorar com precisão cada grupo, mas sim que esteja atento a observar as explicações. 	15 ± 2 min
	<ul style="list-style-type: none"> O professor deve entregar a atividade “Efeito Doppler em galáxias e a idade do Universo” (<i>APÊNDICE K</i> Erro! Fonte de referência não encontrada.) e seu instrumental, para que 	—

	os alunos façam o exercício em casa mantendo o grupo.	
	<ul style="list-style-type: none"> • A atividade do <i>APÊNDICE K</i> pode ser feita em classe em grupo ou individualmente. Uma aula pode ser destinada para maiores explicações sobre o efeito Doppler, a obtenção da constante de Hubble e a realização desta atividade. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do questionário avaliativo (<i>APÊNDICE D</i>). 	10 ± 3 min

